

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD - LYON

U. E. R. DE MÉDECINE LYON NORD

Année 1978 — N. 384

CONTRIBUTION MEDICO-SPORTIVE A L'ETUDE FONCTIONNELLE
D'UNE NOUVELLE CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION

THESE

présentée

à l'Université Claude-Bernard - LYON

et soutenue publiquement le 20 Octobre 1978

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

AUBERT Patrick

né le 28 Septembre 1953

à Remiremont (Vosges)

Ancien Elève de l'Ecole du Service de Santé des Armées de Lyon



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554224_0017

Année 1978 - N. 384

CONTRIBUTION MEDICO-SPORTIVE A L'ETUDE FONCTIONNELLE
D'UNE NOUVELLE CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION

THESE

présentée

à l'Université Claude Bernard - Lyon

et soutenue publiquement le 20 Octobre 1978

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

AUBERT Patrick

né le 28 Septembre 1953

à Remiremont (Vosges)

Ancien Elève de l'Ecole du Service de Santé des Armées de Lyon



Thèse de Doctorat en Médecine

CONTRIBUTION MEDICO SPORTIVE A

L'ETUDE FONCTIONNELLE D'UNE NOUVELLE

CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION

Soutenue par Patrick AUBERT

le 20 Octobre 1978

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur R. GUILLET

Assesseeurs : Monsieur le Professeur M. PONT
Monsieur le Professeur R. LOMBARD-PLATET
Monsieur le Professeur Agrégé E. TISSOT

Invité : Monsieur le Docteur J. GENETY

U.E.R. MEDECINE LYON - NORD

8, Avenue Rockefeller
69373 LYON CEDEX 2

TABLEAU DU PERSONNEL DE L'UNIVERSITE

Président de l'Université : Professeur D. GERMAIN
Premier Vice-Président : Professeur E. ELBAZ
Deuxième Vice-Président : M. B. ROUSSET
Troisième Vice-Président : M. BRULA

Secrétaire Général : M. RAMBAUD

UNITES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE DE L'UNIVERSITE

Médecine Grange Blanche : Directeur : Professeur SALLE (M.C.A.)
Alexis Carrel : Directeur : Professeur MORNEX
Sud-Ouest : Directeur : Professeur NORMAND
Lyon-Nord : Directeur honoraire : Professeur A. BERTOYE

BIOLOGIE HUMAINE : Directeur : Professeur REVILLARD J.-P.

TECHNIQUES DE READAPTATION : Directeur : Docteur MORGON (M.C.A.)

SCIENCES PHARMACEUTIQUES : Directeur : Professeur BIZOLLON C.

SCIENCES ODONTOLOGIQUES : Directeur : Professeur R. VINCENT

INSTITUT REGIONAL D'EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE :
Président du Conseil de l'U.E.R. : Professeur GUILLET
Directeur : M. MILLON A.

MATHEMATIQUES : Directeur : Professeur Ph. PICARD

PHYSIQUE : Directeur : Professeur J. DELMAU

CHIMIE ET BIOLOGIE : Directeur : Professeur J. HUET

SCIENCES DE LA NATURE : Directeur : Professeur R. GINET

SCIENCES PHYSIOLOGIQUES : Directeur : Professeur WORDE J.-F.

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE N°1 : Directeur : M. VILLE A. (M.D.C.)

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE N°2 : Directeur : M. GALLET J.
Directeur E.N.S.A.M.

OBSERVATOIRE : Directeur : M. MONNEY Guy.

PHYSIQUE NUCLEAIRE : Directeur : Professeur GUSAKOW

MECANIQUE : Directeur : Mlle COMTE BELLOT

- A ma femme,
- A mes parents et beaux-parents, avec toute notre tendresse,
- A Mère St François d'Assise, notre tante,
- A Monsieur le Médecin Général J.-P. THOMAS ; il représente pour nous une image vivante des qualités d'homme et de chirurgien. Puissions-nous suivre son exemple !
- A François, à Marie-Jeanne et Clément, à Elisabeth, avec notre fraternelle affection,
- A Roland et Anne, en témoignage d'une sincère amitié,
- A Roger, et à tous mes camarades de l'E.S.S.A.
- A Bernard MOYEN, avec toute ma reconnaissance pour son aide efficace,
- Au Médecin Principal G. PAGLIANO, Chirurgien des Hôpitaux des Armées. Qu'il trouve ici l'expression de notre admiration et de notre respect, et nos remerciements pour tout ce que nous avons appris auprès de lui !
- A toute l'équipe du Centre de Médecine du Sport du Pavillon M.
- A tous mes amis et camarades skieurs, compétiteurs ou non.

- A notre Président de Thèse, le Professeur R. GUILLET

Sans nous connaître, il a accepté de présider ce jury. Nous avons pu trouver là l'expression de sa disponibilité, de son dynamisme et de son ouverture d'esprit, qualités indéniables à tout sportif.

Qu'il en soit ici remercié !

- A nos Juges :

Monsieur le Professeur PONT

Nous avons pu apprécier, pendant nos années d'études, la clarté de son enseignement et son allant jamais démenti. Grand skieur et émérite sportif, il a pu, malgré le peu de rapport entre sa spécialité et la matière de cette thèse, se libérer pour nous juger.

Nous lui en sommes reconnaissant.

Monsieur le Professeur LOMBARD-PLATET

Il nous a fait l'honneur de juger ce travail.

Qu'il veuille bien trouver ici le témoignage de notre gratitude et de notre respect.

Monsieur le Professeur Agrégé E. TISSOT

Bien qu'il ne nous ait pas été permis de profiter personnellement de son enseignement, la sûreté de son diagnostic et de son geste chirurgical nous est connue.

Qu'il trouve ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Jean GENETY

Il a accepté de parrainer cette thèse, dont le sujet, inhabituel, l'a tout de suite intéressé.

Nous avons pu, comme patient et comme élève, apprécier ses qualités de pédagogue, sa logique de clinicien, et son dynamisme de grand sportif.

Nous lui exprimons ici notre profond respect et notre sincère admiration.

- *Au Médecin Général THALABARD, Commandant d'Ecole du Service des Armées de Lyon,*

- *Au Médecin en Chef SEPETJIAN, Commandant en Second de l'Ecole du Service de Santé des Armées.*

- *A mes Maîtres d'Externat*
 - . *Monsieur le Professeur E. LEJEUNE*
 - . *Madame le Professeur PINET : elle nous a inculqué le sens de l'analyse et du raisonnement. Qu'elle soit ici remerciée de sa bienveillance à notre égard*
 - . *Monsieur le Professeur BRETTE*
 - . *Monsieur le Professeur GUINET*
 - . *Monsieur le Professeur HARTEMANN*
 - . *Monsieur le Professeur BONAMOUR*
 - . *Monsieur le Professeur CHARVET*
 - . *Monsieur le Professeur BERTOYE*

S O M M A I R E

I.	INTRODUCTION ET HISTORIQUE	p. 1
II.	RAPPELS ANATOMIQUES SOMMAIRES	p. 8
III.	RAPPELS BIOMECANIQUES SOMMAIRES	p. 27
IV.	CRITERES EXIGES PAR LA CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION ...	p. 43
V.	ANALYSE CRITIQUE DE LA CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION "CLASSIQUE" EN 1978.....	p. 66
VI.	NOS PROPOSITIONS DE FABRICATION : ANALYSE CRITIQUE	p. 95
VII.	CONCLUSION	p. 114

INTRODUCTION

Le ski, comme tous les phénomènes sportifs, s'est, depuis sa vulgarisation, peu à peu différencié en spécialités, en même temps que les compétitions déterminaient des niveaux de valeur, du plan régional au plan mondial.

I.- Nous nous attachons, dans ce travail, à l'étude d'un matériel hautement sophistiqué, destiné à permettre, de façon exclusive, la pratique du ski dit "alpin" de compétition par des sportifs adultes sur le plan physiologique (leur croissance tissulaire étant considérée comme stabilisée).

II.- Ce ski "alpin" pouvant être défini comme un moyen de locomotion permettant de descendre des pentes enneigées, suivant un parcours et une vitesse variables, comporte différentes disciplines qui font l'objet d'autant de types de compétitions, organisées selon des règles définies par les fédérations internationales responsables :

- les compétitions "amateurs", dont l'archétype est représenté par les Jeux Olympiques, les Championnats du Monde et les nombreuses épreuves de la Coupe du Monde, sous l'égide de la F.I.S. (Fédération Internationale de Ski), disputées sur trois épreuves :

- | | |
|------------------|--------|
| . Slalom Spécial | (S.S.) |
| . Slalom Géant | (S.G.) |
| . Descente | (D) |

dont nous rappellerons brièvement les caractéristiques (Ch. IV.)

- les compétitions "professionnelles", ne comportant pour l'instant que S.S. et S.G., disputés en parallèle, mais de technique similaire aux précédentes.

- les compétitions de Freestyle, d'esprit plus neuf, différenciées en :

- . Aerials (exécution de figures acrobatiques pendant un saut réalisé à partir d'un tremplin),
- . Ballet (s'apparentant aux figures de patinage sur glace),
- . Moguls (descente dans un terrain très bosselé en "style libre").

Nous restreindrons, par souci de simplicité, notre étude aux compétitions ne comportant que des épreuves type SLALOM (Spécial ou Géant), et Descente.

III.- Cet engouement croissant pour le ski, constaté chaque saison, ne s'explique guère par une prédisposition anatomique ou physiologique du genre humain à ce sport :

En effet, le membre inférieur et le pied humains sont conçus pour :

- . un travail alternatif (la marche), plutôt que simultané,
- . des prises d'appui successives, plutôt que pour un glissement sur les faces plantaires des pieds,
- . un effort de type moteur (de propulsion), plutôt que de type résistant (d'absorption des forces).

Les conditions anatomiques et mécaniques d'utilisation des pieds sont donc complètement bouleversées, ce qui explique la difficulté d'apprentissage du ski, à partir d'un certain âge, ou d'un manque de condition physique.

De plus, toutes les conditions défavorables sur le plan physiologique sont également réunies dans la pratique du ski :

- . le froid ambiant,
- . le travail isométrique, de faible amplitude, des muscles du bas de jambe et du pied,
- . la diminution de l'apport, et surtout du drainage sanguin, par serrage du bas de jambe dans une chaussure haute, mais également par oedème consécutif à la fatigue, et à la station debout prolongée.

Or, il semble qu'à l'heure actuelle, on soit arrivé à contrôler certains de ces facteurs, dans la conception d'une chaussure de ski.

IV.- Ce fait a suivi une évolution parallèle à celle de la technique du ski alpin, technique qui, éprouvée ou modifiée en compétition, se vulgarise petit à petit.

En effet, il ne faut pas perdre de vue que la technique conditionne la conception et la réalisation d'une chaussure de ski, de même qu'une conception ou une réalisation nouvelles de la chaussure peuvent influencer la technique du skieur. Pour exemple, nous ne citerons que le virage de base, enseigné actuellement par les moniteurs de l'E.S.F. (le virage "aval forme finale"), qui n'aurait jamais été conçu si les chaussures avaient conservé une tige basse.

V.- La chaussure de ski doit donc se concevoir sous deux aspects, inconciliables à première vue :

- . l'aspect technique, en tant que moyen de liaison entre l'outil (le ski), et l'utilisateur (le skieur),
- . l'aspect humain, ressenti sous la notion vague, mais ô combien importante, de " confort " !

Nous aborderons donc successivement, après quelques mots sur l'historique du ski et de la chaussure de ski :

- . l'étude des rappels anatomiques sommaires, puis des rappels biomécaniques sommaires, nécessaires à la compréhension de la conception d'une chaussure de ski,
- . l'analyse des critères exigés pour la chaussure de ski de compétition,
- . l'étude critique des modèles utilisés ces dernières années dans les circuits de compétition,

avant d'apporter notre proposition personnelle en analysant une conception différente de la chaussure de ski de compétition, conception à laquelle nous avons pu contribuer.

HISTORIQUE

Deux époques différentes doivent être décrites dans la genèse de la chaussure de ski :

- . les premiers âges, jusqu'à la notion de compétition en ski alpin,
- . l'époque contemporaine, pendant laquelle les règles des différents types de compétition, une fois posées, ont permis l'éclosion et la maturation d'une technique que l'on peut considérer comme étant presque arrivée, à l'heure actuelle, à son summum.

I.- Les premières descriptions du ski en tant que moyen de locomotion ou outil de travail ont été retrouvées dans une saga norvégienne datant de 8000 ans avant J.-C. : " des hommes bruns de peau et de poils, volant sur la neige comme l'oiseau vole dans le ciel ".

Les dénominations de ce ski varient selon les ethnies et les régions (suksi en finnois, ukski dans l'Altaï, bûche en Norvège), mais tous ces termes recouvrent la notion d'un système permettant un déplacement horizontal, à type de glissement, sur la neige.

La conformation de ce système est d'ailleurs asymétrique : lors de la 1^{ère} Vasaloppett en 1520 dans le "couloir du renne", les autochtones utilisent un ski long, fixé à un pied, sur lequel ils glissent, propulsés par un ski court fixé à l'autre pied, servant de patinette.

Dès 1888, les fondeurs et les randonneurs peuvent suivre l'exploit de S. NANSEN, qui traverse à ski le Groënland, en 40 jours.

Les premières descentes dont on ait un écho se déroulèrent vers 1893, tant dans les pays nordiques qu'en Europe Occidentale et Centrale.

La grande impulsion vers la différenciation du ski alpin fut donnée par Sir Arnold LUNN, fondateur de l'ALPINE SKI CLUB, voué au ski de descente, ou ski alpin, par opposition au fond et à la randonnée.

Sous l'influence de ce pionnier, la différenciation du ski alpin se poursuit, avec l'invention d'épreuves différentes :

- . le slalom, parcours matérialisé par des piquets sur une pente,
- . la descente, épreuve de pure vitesse sur une piste non balisée (à l'époque).

Ces deux épreuves étaient, à l'origine, groupées en un seul classement, le Combiné, dont le premier eu lieu en 1904 : c'était le 1^{er} " Kandahar".

Puis vinrent les 1^{er} Jeux Olympiques, organisés par Chamonix en 1924, et les 1^{ers} Championnats du Monde disputés en 1930, à Murren.

Par la suite, les épreuves se sont multipliées en nombre, et leur recrutement n'a cessé d'augmenter.

II.- L'époque contemporaine a vu la technique s'affirmer pendant que, parallèlement, l'équipement se sophistiquait. Pour illustrer ceci, il suffit de reprendre ces deux paramètres conjointement, à l'occasion de grands points de repère de l'histoire du ski alpin, les Jeux Olympiques.

- De 1924 à 1930 - 35, la vitesse était faible, les tracés flous, la technique personnelle des coureurs variait avec leur provenance : virages en telemark, aidé par la fixation qui laissait libre le talon, avec ou sans appui sur un ou deux bâtons, ou virage " sauté ", ou changement de direction en " ciseaux ".

Par la suite, les fixations s'améliorent, tendent à immobiliser le talon : longues lanières, ressorts Bildstein, pendant que les skis se munissent de carres métalliques vissées.

La vitesse augmente, les écarts à l'arrivée entre les compétiteurs diminuent, preuve que la technique s'affine.

Les chaussures, en cuir plutôt souple, voient leurs semelles se rigidifier, à cause de la tenue du talon. Le laçage, simple ou double, tend à maintenir le pied surtout latéralement. Les flexions extensions, très souples, sont aidées par les tiges basses.

- Vers 1948, à St Moritz, apparaît le virage skis parallèles par flexion extension.

- En 1952, l'italien ZENO COLO innove, et gagne, dans un style repris par OREILLER et SAILER, qui gagne les 3 épreuves à Cortina en 1956.

Les chaussures commencent à se rigidifier, grâce à l'apport de cuirs moins souples ou plus épais, pour freiner les flexions extensions, condition rendue nécessaire par l'augmentation de la vitesse et l'accélération des mouvements.

- En 1960, à Squaw Valley, la technique française élégante, rapide, faisant intervenir l'indépendance des jambes, dans un parcours où le virage skis parallèles serrés est de règle - s'opposant ainsi à la méthode autrichienne, prisonnière de la simultanéité de mouvements des deux skis qu'elle prône - s'impose.

Les tiges des chaussures commencent à se faire plus hautes, tandis que l'on cherche déjà de nouveaux systèmes de serrage (MOLITOR, inventeur d'une crémaillère dont nous reparlerons (ch. V), HANS MARTIN, créateur du système de "boucle" largement utilisé depuis, et universellement appliqué actuellement).

Ce système de boucles MARTIN équipe pratiquement tous les skieurs à Grenoble en 1968, alors que J.-C. KILLY réalise le triplé célèbre.

Les tiges des chaussures ont encore gagné en hauteur et en rigidité, tandis que les fabricants commencent à introduire sur le marché les thermoplastiques destinés à remplacer le cuir.

Depuis 1968, en 10 ans, la technique a encore gagné, beaucoup plus en finesse de pilotage du ski, et en placement du corps, qu'en vitesse ou en innovations.

Pour aboutir à ces gains techniques, la chaussure a profondément changé sa structure. Elle n'est bien sûr pas seule en cause, l'évolution des skis sur tous les plans (âme , semelle, carres), des fixations (butée avant et talonnière), des pistes et des tracés, et l'entraînement, physique et technique, y ont apporté leur part.

Cette structure de la chaussure actuelle utilisée en ski de compétition (ch. V) ne ressemble pas plus à celle de la chaussure utilisée lors des lers Jeux Olympiques, que la technique de 1924 ne ressemble à celle des années 1968 - 1978. Malgré cela, peu d'études ont été publiées concernant cet élément primordial de l'équipement du skieur.

RAPPELS ANATOMIQUES SOMMAIRES

En fonction des exigences du ski de compétition.

INTRODUCTION

L'ensemble anatomique circonscrit et protégé par la chaussure de ski alpin comprend le bas de jambe (soit environ le 1/3 inférieur), et le pied.

Nous étudierons successivement :

- . l'anatomie du squelette et de ses articulations
- . l'anatomie des parties molles.

Puis les conséquences, sur le plan anatomique, d'une compression exercée de façon intrinsèque (comme peut le réaliser la chaussure de ski), sur l'un quelconque des éléments précités.

A.- RAPPELS SOMMAIRES D'ANATOMIE OSTEO ARTICULAIRE

Généralités

Le pied, de volume et de structure subtile et complexe, support du poids du corps (qu'il transmet au sol par l'intermédiaire de la chaussure), présente une conformation similaire à celle de la main, à ceci près que la fonction de préhension s'est effacée devant celle de sustentation, permettant la station debout et la locomotion.

Son architecture ostéo articulaire est caractéristique : 26 os (sans compter les os surnuméraires), unis par des ligaments, soutenus par des muscles, articulés entre eux de façon à former un ensemble solide, résistant, élastique et souple, permettant l'absorption possible des chocs.

Entre le squelette jambier et le squelette du pied, se trouve une articulation primordiale, en ce qui concerne le ski :

I. L'articulation tibio tarsienne

a) les surfaces articulaires sont comparées à un tenon (astragalien), jouant dans une mortaise (tibio péronière.)

- la mortaise tibio péronière présente trois facettes articulaires :

- . supérieure, correspondant à la face inférieure du pilon tibial, concave d'avant en arrière, munie d'une crête sagittale (répondant à la gouge de la poulie astragalienne).

Elle décrit un arc de cercle de 70° d'amplitude, dont le rayon de courbure est supérieur à celui de son homologue astragalien.

Son rebord postérieur (ou 3^{ème} malléole de Destot) descend plus bas que la marge antérieure.

Sa largeur est plus importante en avant qu'en arrière.

- . latérales, interne et externe, protégées par les malléoles asymétriques : la malléole interne est courbe, robuste, verticale, en avant du plan frontal passant par le point central de l'articulation.

La malléole externe, plus longue, moins massive, oblique en dehors et en arrière, en arrière du plan précédemment cité.

- le tenon astragalien, formé aux dépens de la face supérieure et des faces latérales (interne et externe) de l'astragale, présente :

- . une gorge, de direction grossièrement sagittale,
- . 2 joues de part et d'autre, l'externe divergeant vers l'avant et le dehors, en s'élargissant.

(le tout s'articulant avec les facettes correspondantes de la mortaise).

Cette "poulie" décrit un arc de cercle de 140° , donc beaucoup plus étendu que celui de la mortaise, et s'y inscrivant, car d'un rayon de courbure plus faible.

L'axe de la gorge est légèrement dévié, en avant et en dehors, de 20° .

La poulie est plus large en avant qu'en arrière (d'environ 5 mm).

sont : b) les éléments passifs de contention de la tibio-tarsienne

- la capsule, manchon fibreux, très court, s'insérant sur le pourtour des surfaces articulaires, épaissie et densifiée, donc plus résistante, au niveau des malléoles,

- les ligaments :

. le LLE, décomposable en 3 faisceaux :

+ le péronéo astragalien antérieur, de direction quasi horizontale, formant avec son homologue du LLI un harnais retenant en avant le tenon dans la mortaise,

+ le péronéo calcanéen, oblique en bas, en arrière, en dedans,

+ le péronéo astragalien postérieur, horizontal vers l'arrière.

. le LLI, en deux plans :

+ superficiel, formant un triangle à base inférieure ("ligament deltoïdien"),

+ profond, discontinu, en 2 faisceaux :

- antérieur frêle
- postérieur épais

- les ligaments péronéo tibiaux inférieurs (faisant de la tibio péronière une syndesmose) : antérieur, assez résistant et large, et postérieur, plus épais.

c) les éléments actifs que sont les muscles assurent égale-

ment la stabilité de cette articulation, moyennement emboîtée mécaniquement.

- Les muscles de la flexion dorsale, groupés dans la loge antérieure de la jambe :
 - . jambier antérieur
 - . extenseur propre du gros orteil
 - . extenseur commun des orteils
 - . péronier antérieur (de façon inconstante)

- les muscles de la flexion plantaire, dans les loges extérieures et postérieure de la jambe :
 - . triceps sural
 - . Long et Court Péroniers Latéraux
 - . jambier postérieur
 - . fléchisseur propre du gros orteil
 - . fléchisseur commun des orteils
 - . plantaire grêle (de peu d'importance physiologiquement)

II. Le pied

Son squelette peut être divisé en trois parties :

- . le tarse postérieur
- . le tarse antérieur
- . les métatarses et les phalanges

En ne considérant que les mouvements possibles en appui monopodal ou bipodal (et non en mouvements alternatifs tels que la marche), le squelette du pied se présente sous la forme d'une voûte doublement concave à sa face plantaire, dans les plans longitudinal et transversal.

a) le tarse postérieur, formé de deux os superposés :

- l'astragale, en haut, "supportant la mortaise tibio tarsienne comme une selle son cavalier".

- le calcanéum en bas, reposant sur le sol par ses deux tubérosités postérieures, dont l'axe vertical est décalé dans le plan frontal, créant un valgus physiologique de 5° destiné à l'amortissement lors de la mise en charge.

b) le tarse antérieur, limité par l'articulation de CHOPART, (ou médio tarsienne en arrière) et par celle de LISFRANC (ou tarso métatarsienne), comprend :

- le cuboïde en avant du calcanéum,
- le scaphoïde, en avant de l'astragale, et en dedans du précédent,
- les trois cunéiformes, en avant du scaphoïde

Il forme la "clef" de la voûte plantaire, dont les composantes antérieures sont les métatarses prolongés en avant par les phalanges réduites au minimum chez l'homme (du fait de la spécialisation du pied aux dépens de la préhension).

c) tout cet assemblage osseux forme un ensemble architectural cohérent, appelé la voûte plantaire, d'importance très grande tant dans la statique que dans la dynamique du pied et de la sustentation.

Cette voûte, en même temps que moyen d'adaptation au terrain, constitue un dispositif amortisseur dont le rôle, en ski alpin, est important.

Elle se compose de 3 arches de soutènement :

- . 2 arches longitudinales interne et externe
- . et une arche transversale antérieure

- l'arche interne, tendue de la tubérosité postéro interne du calcanéum à la tête du 1er métatarse, est la plus longue, la plus cintrée. Son point culminant, le scaphoïde, se situe, pour son bord inférieur, à 15 à 18 mm du sol.

- l'arche externe, tendue de la tubérosité postéro externe du calcanéum à la tête du 5ème métatarse, est surbaissée, très peu marquée (le cuboïde n'a son bord inférieur qu'à 3 à 5 mm du sol, fait traduit par l'empreinte du bord externe du pied sur le podoscope.)

- l'arche antérieure, surbaissée également, travaille comme un ressort sous tendu par l'abducteur transverse du gros orteil, s'étend des têtes du 1er au 5ème métatarsien, sa clef de voûte est la tête du 2ème, mais elle n'existe qu'en décharge : l'appui plantaire antérieur en charge est continu sur le podoscope.

Cette structure de voûte du pied joue un rôle très important lors des mises en charge (voir ch. III).

De la connaissance de l'anatomie osseuse du pied, nous pouvons déduire certains "points saillants" qui risquent par conflit direct entre la chaussure et le pied, de provoquer des lésions (ch. IV) : ce sont les saillies osseuses identifiables :

- les malléoles interne et externe, tant sur leurs bords antérieur et postérieur que la pointe (en se rappelant qu'elles ne sont symétriques dans aucun plan),

- le bord antéro interne du scaphoïde,

- le bord interne du 1er cunéiforme,

- la face interne de la tête du 1er métatarsien,

enfin, sur certains pieds maigres, citons :

- la tête de l'astragale (bord interne),

- l'apophyse antéro externe du calcaneum

B.- RAPPELS SOMMAIRES D'ANATOMIE DES PARTIES MOLLES

Introduction

(Nous n'étudions ceci qu'au niveau du cou-de-pied et du pied, le bas de jambe étant vascularisé et innervé par des pédicules venant de plus haut, et donc non sujets à compression).

Sous ce vocable "parties molles", comprenons :

- la vascularisation artérielle
veineuse

- l'innervation motrice
sensitive

- les corps musculaires et les tendons.

Puis, nous nous attacherons à essayer de préciser les effets et les lieux possibles de compression extrinsèque sur l'un ou l'autre de ces éléments, avant de proposer la notion de " zones anatomiquement compressibles, et non compressibles ".

I. Rappels d'anatomie vasculaire :

a) artérielle : 2 pédicules sont à décrire

- l'artère tibiale postérieure, artère de la plante du pied, qui, émergeant à la partie haute du canal calcanéen, avec le nerf tibial postérieur et les tendons du FPGO et du FCO, se divise au bord interne du calcanéum, en :

- . artère plantaire interne, suivant le bord interne du pied, pour vasculariser le gros orteil sur sa face plantaire, passant notamment au bord interne de la tête du premier méta,
- . artère plantaire externe, suivie par son nerf satellite, décrivant une arcade concave vers l'intérieur, et donnant les collatérales pour la face plantaire des 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} orteils au niveau des bases des métas.

- l'artère pédieuse, ou tibiale antérieure, artère du dos du pied, beaucoup plus protégée au niveau de la face antérieure du cou-de-pied (entre le tendon du jambier antérieur en dedans et celui de l'EPGO en dehors), suit l'axe longitudinal du pied, sous-croisant le corps musculaire et le tendon pédieux, donne une branche externe pour le 4^{ème} espace intra digital (face dorsale), et une branche interne pour les 1^{er}, 2^{ème} et 3^{èmes} espaces.

- des anastomoses existent entre les deux systèmes plantaires interne et externe, par :

- . l'arcade plantaire superficielle, mais inconstante, et
- . par les branches inter osseuses du 1^{er} groupe. Leur valeur fonctionnelle n'est pas certaine.

b) veineux

Le point de départ, la semelle veineuse plantaire de LEJARS se draine par :

- . l'arcade plantaire sous-cutanée en avant,
- . les veines obliques latéralement,
- . le long du tendon d'Achille en arrière et profondément, par les perforantes.

Deux réseaux sont à décrire :

- les veines profondes, homologues des artères (plantair externe, interne, tibiale postérieure, pédieuse).

- les veines superficielles, en deux systèmes, plus ou moins anastomosés :

- . saphène interne (issue des arcades dorsales et plantaires superficielles du pied, se drainant dans la veine marginale interne, en pré malléolaire interne, recevant la veine calcanéenne interne).
- . saphène externe (issue selon le même schéma de l'arcade dorsale superficielle et des veines dorsales des orteils drainées vers la veine marginale externe, en rétro malléolaire externe, recevant la veine calcanéenne externe)

Ces deux veines saphènes ayant un trajet ascendant sous cutané au niveau du bas de jambe, sont donc directement et aisément compressibles.

II. Rappels d'anatomie nerveuse du pied

a) motrice : 2 pédicules, homologues des réseaux artériels :

- le nerf tibial antérieur, se distribuant au muscle pédieux dorsal, après avoir innervé les muscles de la loge antérieure de la jambe (JA, ECO, EPGO, PA)

canéen en : - le nerf tibial postérieur, divisé dans le canal cal-

- . pédicule plantaire interne, pour AGO, CFGO, CFP, 1er et 2e lombrical (et accessoire de LF)
dont la branche tout à fait interne passe au niveau du bord interne de la première métatarson phalangienne après avoir longé le bord interne du pied,
- . et en pédicule plantaire externe, satellite de l'artère, se distribuant également à la face plantaire du pied, aux muscles Abd GO, Abd V, CF GO, Opp V, 3 ème et 4 ème lombricaux, interosseux plantaires et dorsaux (et accessoire du LF)

b) sensitive ; de très nombreux pédicules collectent les informations au niveau du pied.

Certains sont profonds (mais vulnérables dans leurs rapports anatomiques): nerf tibial postérieur recevant les rameaux des régions plantaires :

- . interne (partie antérieure interne de la semelle et face plantaire et dorsale des trois premiers orteils et de la face plantaire de la moitié interne du quatrième)
- . externe (la partie restante de la semelle antérieure et les faces plantaires et dorsales du 5 ème orteil et de la moitié externe du quatrième).

D'autres sont superficiels, et, à ce titre, plus grêles :

- . rameau calcanéen et cutané plantaire du nerf tibial postérieur innervant l'appui talonnier,
- . rameau saphène interne, responsable des perceptions au niveau de la voûte plantaire cutanée et de la face interne du pied et du bas de jambe. Il chemine dans la partie externe du cou-de-pied avant de se porter en rétro malléolaire.
- . rameau saphène externe, pour le bord externe du pied et la partie proximale des deux derniers orteils. Il innerve donc la région du pied qui se déforme le plus en charge et à la fatigue. Il chemine dans la partie externe du condyle et monte en pré malléolaire.

- . rameau musculo-cutané, innervant la face dorsale du pied et du cou-de-pied, exceptant le bord externe et le 1er espace inter digital.

III. RAPPELS GROSSIERS DE MYOLOGIE

A.- Au niveau du bas de jambe

Comme le représente la coupe au 1/3 moyen, 1/3 inférieur, nous trouvons trois loges musculaires :

- la loge antérieure, avec, du bord interne vers le bord externe : JA, EPGO (protégeant dans leur dièdre le paquet tibial antérieur), ECO (avec, sur sa face externe, le nerf musculo cutané),

- la loge externe, contigue à la précédente, sur le flanc externe du péroné, le LPL superficiel recouvrant le CPL plus profond,

- la loge postérieure, la plus importante, en volume, contenant en trois plans :

- . le JP profondément
- . le FCO, externe, le FGPO interne, et entre eux, le paquet tibial postérieur,
- . enfin, surperficiellement, et très développé chez l'athlète, le triceps sural, composé des deux corps musculaires des jumeaux se jetant sur leur tendon commun plus haut que ne le fait le soléaire qui les déborde latéralement.

B. Au niveau du cou-de-pied, où, en coupe horizontale, nous trouvons :

- en position antérieure, appliqués contre les reliefs osseux, de l'intérieur vers l'extérieur :

- . le paquet saphène interne, très superficiel, alors prémalléolaire,
- . le JA
- . l'EPGO, avec sur sa face profonde, le paquet tibial antérieur,
- . l'ECO, en arrière du nerf musculo cutané alors superficiel.

- dans la région postérieure, de l'intérieur vers l'extérieur :

- . le JP et le FCO
- . le FPGO, avec, sur son flanc interne, le paquet tibial postérieur, et sur son flanc externe, le paquet péronier.
- . enfin, le CPL et le LPL, externes
- . plus superficiellement, en position médiane, le triangle pré achilléen et le tendon d'Achille, avec, sur son bord interne, la branche calcanéenne du nerf tibial postérieur, et sur le bord externe, le paquet saphène externe, très superficiel.

B. Enfin, au niveau de la voûte plantaire : région en forme de croissant à concavité interne, limitée en arrière par le bord antéro interne de l'empreinte talonnière, en avant par le bord postérieur de l'appui de la tête du 1er métatarsien. Son bord externe est variable suivant le degré d'aplatissement de la voûte.

Elle comprend, de la superficie vers la profondeur :

- . l'aponévrose superficielle, perforée en avant par le paquet collatéral plantaire interne du 1er orteil,
- . ses muscles :
 - l'abducteur du GO d'insertion post calcanéenne, se jetant sur les sésamoïdes, et, par une expansion, sur la face interne de la 1 ère métatarso phalangienne,
 - plus externe, le CF plantaire (tendon du calcaneum à P3 des 4 derniers orteils)
- . plus profondément, la chair carrée de Sylvius, se

jetant sur les tendons du FCO, et plus interne, le tendon du FPGO,

- . encore plus profondément, l'insertion du JP sur le scaphoïde, et, oblique, en avant et en dedans, le CFGO, et l'adducteur oblique du GO.

Cette région, dont la face plantaire est donc charnue, voit cheminer assez superficiellement le pédicule plantaire interne.

C.- INTRODUCTION ET ANALYSE DE LA NOTION DE COMPRESSIBILITE

Le pied, engainé dans une chaussure de ski, est susceptible d'être l'objet de compressions extrinsèques, exercées quelquefois de façon très ponctuelle. Notre but est donc d'analyser les différentes possibilités et les effets de ces compressions.

I. Effets et lieux de compressions vasculaires

a) compressions artérielles

- elles ont pour effet physiologique une baisse rapide de l'apport sanguin. (Les anastomoses peuvent "récupérer" une partie du déficit, mais l'effet est d'autant plus net que la compression est réalisée brusquement, comme peut le faire une fermeture de chaussure).

- elles se traduiront par des signes fonctionnels, en aval de la compression, dans le territoire vascularisé, à type de sensations de froid, picotements ou impressions de parésie (toujours ces sensations seront pures, non intriquées). La restitution, dès levée de la compression, se fera ad intégrum en quelques secondes, avec sensation de chaleur, voire cuisson dans le territoire ischémié, et même douleur, si la compression était extrême, sur un territoire peu actif musculairement.

- les lieux possibles de compression sont :

- . le premier lieu, l'artère tibiale postérieure dans le canal calcanéen, plutôt en rétro qu'en sous malléolaire

interne. Les sensations seront donc situées dans la plante du pied, surtout en plantaire interne (gros orteil),

- . puis l'artère tibiale antérieure dans la loge antérieure de la jambe et la Pédieuse au cou-de-pied (entre les tendons du J.A. et de l'E.G.O.). Les signes fonctionnels seront donc localisés sur la face dorsale des orteils,
- . l'artère plantaire externe (comprimée par un support de voûte plantaire protubérant), peut être cause, sous compression, de sensations analogues au niveau de la face plantaire des derniers orteils,
- . de la même façon, l'artère plantaire interne, avec ses signes fonctionnels sur la face plantaire du gros orteil.

b) compressions veineuses

Les veines, qu'elles soient profondes ou superficielles, sont beaucoup plus vulnérables, directement ou par l'intermédiaire d'une compression musculaire (par serrage circonférentiel du bas de jambe par exemple).

Les sensations éprouvées seront, à peu de choses près, les mêmes que pour une compression artérielle, mais deux points les différencient :

- elles seront plus longues à apparaître et à disparaître (30" à 1 minute),

- à la longue, cette compression sera cause d'oedème, induisant une augmentation de volume du pied, qui, plus ou moins engainé dans une structure inextensible, souffrira. Cet oedème se fera surtout au niveau du bord externe, charnu, du pied.

Les lieux de compression possible sont identiques à ceux des artères (canal calcanéen, cou-de-pied), mais, surtout, la compression indirecte sera en cause :

- . compression des masses musculaires du bas de jambe
- . et de la plante du pied, surtout si les reliefs de la semelle sont inadéquats (ex. support de voûte).

II. Effets et lieux des compressions nerveuses

Nous n'étudierons que les compressions des filets sensitifs, les nerfs moteurs demandant un effort de compression très ponctuel et important pour causer un désagrément quelconque.

La pathogénie est plus floue, soit compression élective d'un trajet nerveux, soit souffrance par ischémie musculaire (ou même nerveuse).

Les sensations éprouvées provenant des extrémités distales, sont très variées, mais toujours les mêmes pour un individu donné : brûlures, fourmillements, picotements, impression d'eau froide courant sur la peau.

L'évolution vers la restitution est beaucoup plus longue (1 à 2 minutes), avec disparition très progressive des sensations.

Les lieux de compression sont assez localisés :

- . nerf tibial antérieur au cou-de-pied, ou tibial postérieur à la partie haute du canal calcanéen, sont peu vulnérables.
- . le nerf musculo cutané, sur la partie externe du cou-de-pied l'est beaucoup plus, car comprimé sur un relief osseux ; les effets de sa compression siègent sur la face dorsale du pied, orteils exceptés.
- . les petits nerfs sensitifs (saphène interne et externe, rameau calcanéen du tibial postérieur) sont également compressibles, mais leur mise en cause réclame un déterminisme rarement rencontré dans les chaussures de ski (relief proéminent au niveau du talon ou des malléoles interne ou externe : les plis d'un chausson mal étudié, surtout, peuvent en être cause).

III.- Effets et lieux des compressions des parties molles : Rôle de la fatigue.

a) compression musculaire

Elle se fait, soit directement au niveau du bas de jambe,

pour la loge postérieure plus spécifiquement, soit indirectement (par ischémie d'effort ou de compression vasculaire).

Il y a là création d'un cercle vicieux, rompu uniquement par l'ouverture du système de serrage de la chaussure.

Elle se traduit par :

- . des douleurs ou des impressions de " crampe " in situ,
- . des sensations de lourdeur, d'engourdissement en aval, bien que la motricité soit conservée.

La cédation se fait en 10 - 15 secondes avec une impression de chaleur diffuse dans le territoire en cause.

Les lieux de compression possible ont déjà été entrevus :

- . bas de jambe, par compression du soléaire (ou même des jumeaux en cas de tige trop haute) sur un haut de tige insuffisamment matelassé,
- . voûte plantaire, par support de voûte proéminent ou trop dur.

b) rôle de la fatigue

En dehors de tout élément biomécanique (élargissement du pied par aplatissement de la voûte), le volume global du pied augmente.

Cette augmentation se fait vraisemblablement par oedème secondaire à la compression veineuse (ubiquitaire le plus souvent).

Elle est préférentiellement réalisée par un élargissement aux dépens du bord externe du pied, dans une zone comprise entre le bord antéro externe de l'appui talonnier et la tête du 5 ème métatarsien ; opposant, court fléchisseur et abducteur du V y participent, contribuant ainsi au cercle vicieux déjà cité : augmentation de volume - compression - oedème.

IV. Effets et lieux des compressions ostéo-tendineuses

a) Les os sont en effet très vulnérables, le pied étant schématiquement un volume osseux, plus ou moins adouci par des reliefs musculaires.

Il existe donc des "points saillants", tubérosités osseuses directement sous-cutanées, sièges de :

- compressions

- . soit perpendiculaires (par charge)
- . soit tangentielles (par glissement)

- "microtraumatismes" répétés ; ils sont cause, cliniquement, de douleurs, de brûlures in situ, d'autant plus importantes qu'il pré existe une irritation à ce niveau (cal, durillon), pouvant entraîner une fragilisation et surtout une augmentation de volume (par exemple, les exostoses réactionnelles ou la périostose antérieure du tibia par languette trop dure).

Ces sensations mettent très longtemps à s'atténuer, le meilleur signe d'un conflit pied-chaussure étant la disparition des phénomènes pendant la saison d'été ou après un changement de chaussures.

Les endroits vulnérables sont donc :

- . la crête antérieure du tibia sur sa partie inférieure (par conflit avec la languette),
- . les malléoles interne et externe (si leurs logements dans la coque sont mal réalisés, ou - surtout - mal situés),
- . le calcanéum :
 - sur son bord postéro supérieur ou au niveau de l'insertion du tendon d'Achille (par une coque le "pinçant" trop)
 - ou au niveau de son bord supéro externe (par un pli de recouvrement du chausson ou de la coque)
- . le bord supéro interne du scaphoïde et celui du 1er cunéiforme, d'autant plus vulnérables qu'ils sont le siège de déplacements en charge (cf. ch. III)
- . le bord interne de la tête du 1er métatarsien, avec ou

ou sans hallux valgus débutant, par une coque trop peu large,

- . de la même façon, le bord externe de la base du 5^{ème} métatarsien,
- . enfin, la partie plantaire de la tête des métatarsiens, par appui mal réparti (surtout s'il existe un pied grec, le 2^{ème} rayon plus long que les autres).

b) Les tendons et les bourses de glissement peuvent également être l'objet de compressions, certaines tendinites (au niveau des extenseurs des orteils et au bord externe du tendon d'Achille), et bursites en étant une traduction clinique.

D'autre part, il est possible, mais non vérifié, que la compression tendineuse soit susceptible d'entraîner une altération de l'information proprioceptive émise par les récepteurs intra tendineux. Ceci pourrait expliquer une baisse de "rendement" du skieur dans certaines chaussures pinçant exagérément le tendon d'Achille.

V.- En conclusion, l'étiologie d'une sensation quelconque au niveau du pied, serré dans la chaussure de ski, n'est sans doute jamais univoque ou pure.

Plusieurs mécanismes sont fréquemment associés :

- au premier chef, on trouve toujours la compression musculaire, et, partant, veineuse,

- au second plan, viennent les compressions artérielles et nerveuses, ainsi que les traumatismes osseux, la fatigue s'y surajoutant par la suite.

Cela souligne donc l'attention et la circonspection avec laquelle on doit étudier un problème de compression posé par le pied d'un certain skieur dans une chaussure donnée.

D.- EXTENSION DE LA NOTION DE COMPRESSIBILITE A LA DEFINITION
DE ZONES NON COMPRESSIBLES.

Il est d'abord nécessaire, en prologue, de poser une condition : les appuis au niveau du pied, du cou-de-pied, et du bas de jambe doivent se faire de façon non ponctuelle, ou non linéaire. Toutes les zones sur lesquelles s'exerce une compression quelconque doivent, pour ne pas être cause de surpression, avoir un contour étendu tenant compte des répartitions de la pression exercée.

Cette définition de zones non compressibles ou compressibles a pour but de permettre une meilleure approche du maintien du pied dans la chaussure de ski.

Une zone compressible se définit d'elle-même comme une zone sur laquelle un appui peut être exercé sans entraîner de dysfonction ou de phénomène pathologique. Ce concept se déduit de la notion de zone non compressible, sur laquelle toute surpression, même faible, est mal acceptée.

Citons ces zones non compressibles :

. gouttière rétromalléolaire interne (à cause du paquet tibial postérieur),

. zone prémalléolaire externe (nerf musculo-cutané),

. cou-de-pied, au niveau du passage du paquet tibial antérieur (entre les tendons du jambier antérieur et de l'extenseur du gros orteil),

. bord externe du pied, entre l'aplomb de la malléole externe et la tête du 5^{ème} métatarsien,

. le tendon d'Achille, plus dans une direction sagittale que transversale,

. tous les "points saillants" précédemment cités :

- crête antérieure du tibia
- pointes et bords malléolaires
- bord supéro interne du scaphoïde
- bord supéro interne du 1^{er} cunéiforme
- bord interne de la tête du 1^{er} métatarsien
- bord interne de la base du 5^e métatarsien

(Enfin, les structures osseuses ne supportant pas la compression, comme nous le verrons dans le chapitre III : arche antérieure et arche interne de la voûte sont à citer, bien que la surpression exercée doive être plus importante.)

Les zones compressibles, correspondant au volume du pied soustrait des précédentes, comporte des zones "utiles" à la pratique du ski et des zones "inutiles", car n'étant pas d'une importance capitale dans la plupart des mouvements requis par la technique du ski de compétition. Ce sont les quatre derniers orteils, depuis P1 jusqu'à leur extrémité distale. En effet, hormis les prises d'appui en avancée exagérée, correspondant à un déséquilibre avant, ou l'extension dorsale des orteils lors du ski en neige profonde, les orteils, sauf le premier, ne semblent guère être utiles.

Les zones utiles, compressibles, seront donc (à l'exception de la plante du pied) :

- les faces latérales et postérieures du calcaneum,
- la face antérieure du cou-de-pied (à condition que la pression soit répartie),
- une zone schématiquement triangulaire à base supéro interne (évitant les saillies du scaphoïde et du 1er cunéiforme), étendue vers l'avant jusqu'aux trois quarts antérieurs des métatarsiens, et dont le sommet se situe sur le bord externe du pied, à l'aplomb de la pointe de la malléole externe,
- une zone contiguë à la précédente, en bande horizontale, sur le bord interne du pied entre face latérale interne du calcaneum et 3/4 antérieur du premier métatarsien.

EN CONCLUSION de cette étude anatomique sommaire, nous pouvons noter :

a) que le pied humain n'est pas fait pour être enfermé dans un carcan... et pourtant, il existe nombre de skieurs !

b) que les possibilités de serrage du pied et du bas de jambe ne sont pas légion, mais le système idéal ne semble pas exister, au vu du nombre important de conceptions proposées par les différents fabricants de chaussures de ski.

RAPPELS BIOMÉCANIQUES SOMMAIRES EN FONCTION DES EXIGENCES DU SKI DE COMPÉTITION

Introduction

Le mobile constitué par le pied humain est d'étude hautement complexe, au vu du grand nombre d'articulations permettant des mouvements destinés, en principe, à permettre la marche, en terrain plat ou accidenté.

Note propos sera de tenter de simplifier ce mobile, afin de ne conserver que les structures et articulations utiles à la pratique du ski.

En effet, la marche est différente en bien des points de la pratique du ski ; ces points de divergence concernent avant tout le mode de locomotion :

- la marche est un mouvement de progression alternatif, tandis que le ski comporte un glissement avec un travail plus ou moins simultané des deux membres inférieurs,

- les plans de travail sont également différents : l'axe moyen du pied, lors de la marche, est oblique de 15° vers l'avant et le dehors, tandis qu'en ski, les axes longitudinaux des deux pieds sont, la plupart du temps, parallèles, impliquant des restrictions dans les marges d'amplitude des articulations des membres inférieurs.

Ces points de divergence concernent également la physiologie propre du pied :

- lors de la marche, différents temps existent, lors du passage d'un triangle postérieur d'appui à un triangle antérieur propulsif. Lors de ces prises d'appui, des forces tangentielles se créent (par glissement du coussinet plantaire). On peut donc dire qu'à la marche, le pied bouge par rapport au membre inférieur.

- à l'inverse, en ski, c'est le membre inférieur qui bouge par rapport à un pied immobilisé sur le ski qui, lui, est censé suivre la ligne de pente.

Il n'existe donc pas d'appui talonnier ou métatarsien exclusif, mais l'appui, simultané sur les deux pieds, passe beaucoup plus souvent actuellement, sur un des deux pieds, celui qui est en position "aval" en règle générale.

Cet appui monopodal se fait, lors de la marche ou de la station debout, sur le bord externe du pied (5^{ème} rayon) préférentiellement.

A l'inverse, en ski, l'appui est équilibré dans les deux plans (longitudinal et transversal), et on peut même (dans certaines courbes nécessitant une grande angulation), rencontrer un appui prépondérant sur le bord interne (1^{er} rayon), d'où la nécessité d'adapter la conformation de la chaussure, au niveau de la semelle et des "calages" du pied sur le ski.

Le problème de la chaussure de ski est donc : " comment immobiliser et faire travailler le pied et la cheville sur le ski" en se conformant aux deux concepts fondamentaux :

- travail plante du pied au sol, sans soulèvement antérieur ou postérieur,

- travail uniquement en flexion - extension de la jambe sur le pied supposé "fixé"

I.- DEFINITION ET ETUDE D'UN MODELE MECANIQUE

(représentant le pied travaillant lors de la pratique du ski)

Il faut considérer que, lors de la pratique du ski en compétition à l'heure actuelle, le jeu de la sous-astragaliennne, des articulations de Chopart et de Lisfrancs est bloqué. Nous interdisons dès lors au pied les mouvements d'inversion - éversion du calcanéum, afin de permettre une prise de carres correcte lors de la moindre rentrée du genou (ch. IV)

A) Nous proposons donc un modèle mécanique, simpliste, qui comprendrait :

- une zone d'appui postérieure, l'empreinte talonnière, qui serait fixe sur le ski (sans possibilité de glissement latéral ou longitudinal, ou de soulèvement),

- une zone d'appui antérieure transversale, l'empreinte des têtes métatarsiennes, susceptibles d'élargissement et de glissement longitudinal dans une faible mesure. Cette bande d'appui étant constituée par un ressort court et flexible (arche antérieure de la voûte plantaire);

- ces deux zones étant reliées par un système analogue à une lame de ressort, flexible sur son bord interne (1^{er} rayon : arche interne), et plus résistante sur son bord externe (5^{ème} rayon = arche externe).

- enfin, un système d'axe transversal à un seul degré de liberté (la tibio astragaliennne), relié d'une part à cette lame de ressort, à l'union 1/3 postérieur - 2/3 antérieur, et d'autre part à un squelette osseux avec tibia et péroné, susceptible de se mouvoir uniquement dans le sens antéro postérieur autour de cet axe inférieur.

Ce système inclut donc :

- un axe de flexion - extension : la tibio tarsienne (avec laquelle nous étudierons la tibio péronière inférieure),

- un système amortisseur, sans valeur motrice, susceptible de se déformer.

B) Etude des différentes articulations de ce modèle

1°) la tibio astragaliennne

a) surfaces articulaires et moyens de contention ont déjà été étudiés dans le chapitre II.

b) axes et angles de mobilité.

+ l'axe de la flexion - extension (du pied sur le membre inférieur ou inversement) est grossièrement :

- . horizontal
- . perpendiculaire à l'axe longitudinal du pied (2e rayon)

Plus précisément, dans le plan frontal : la trochlée est une forme conique, dont l'angle apical est de 20 à 30° ; l'axe de la flexion extension est celui du plafond de la mortaise tibiale, compris entre 88° et 100° (en moyenne 93°, soit presque normal à la diaphyse tibiale (inclinaison en varus de 2 à 4°).

Dans le plan horizontal, "l'axe bimalléolaire", passant par les pointes des deux malléoles interne et externe est incliné de 20° en dehors et en arrière, et légèrement oblique en bas et en dehors (de 74° à 94°, soit en moyenne 82° par rapport à la verticale). Il n'est donc pas représentatif de l'axe réel de la flexion - extension.

Les angles permis anatomiquement par cette articulation sont :

- . en extension (flexion dorsale) de 30° à 50°
- . en flexion plantaire de 20° à 30°

(Ces marges sont expliquées par les différences entre les arcs de courbure astragalien (140°) et tibial (70°), permettant donc $140 - 70 =$ environ 70° de motilité totale)

Les moyens de limitation physiologique restent très en deçà des desiderata de la technique du ski.

En conclusion, il est possible de déterminer schématiquement l'axe de la flexion extension chez un sujet en orthostatisme, appui bipodal, pieds parallèles sur un sol plan et horizontal. Ce serait une droite horizontale, perpendiculaire à l'axe longitudinal du pied, situé à une hauteur et un site longitudinal qui seraient la moyenne des hauteurs et des sites des deux pointes malléolaires.

(Cette détermination permettrait grossièrement de se faire une idée de la position de cet axe sur la chaussure, et partant, de l'utilité éventuelle de cet "axe").

2°) La tibio péronière inférieure

Ampliarthrose sans cartilage, elle réunit épiphyses inférieures du tibia et du péroné grâce à des ligaments épais, obliques en bas en dehors (dont l'antérieur présente une longueur beaucoup moins grande), et à un ligament inter osseux médian, remontant haut sur les métaphyses, dont les fibres sont obliques en bas et en dehors.

Cette articulation a un certain jeu physiologique lors de la flexion extension.

La trochlée astragaliennne est plus large en avant qu'en arrière d'environ 5 mm du fait de la divergence d'angles de ses bords interne et externe (bord interne 70 à 93, soit 84° de moyenne par rapport à un axe normal à l'axe longitudinal du pied ; bord externe 82 à 95 : soit 89° en moyenne).

De ce fait, en extension, l'écart tibio péronier inférieur est minimal, alors qu'il atteint son maximum en flexion extrême, la marge étant de 5 mm en largeur.

De plus, lors de la flexion - extension, des mouvements verticaux de la malléole péronière, sous l'effet de l'orientation des fibres de la membrane inter osseuse (obliques en bas en dehors), se produisent : élévation en flexion, par horizontalisation des fibres, abaissement en extension, par mécanisme inverse.

Il existe encore, du fait du trajet plus court du ligament péronéo tibial inféro antérieur, qui joue le rôle de charnière, des mouvements discrets de rotation axiale :

- . rotation interne en flexion (écartement des deux os)
- . et rotation externe en extension

Ces mouvements, bien que discrets, mettent l'accent sur la nécessité de la liberté transversale à laisser à cette articulation. Toute compression simultanée (par serrage de la chaussure) sur les deux malléoles, ne serait que néfaste et douloureuse.

3°) La voûte plantaire

Définie comme un ensemble architectural ostéo arthro ligament musculaire, elle a, pendant la marche, le rôle prépondérant de l'adaptation aux inégalités du terrain et de la transmission des efforts et du poids.

En pratique de ski, son rôle change pour devenir celui d'un amortisseur, mis en cause lors des mouvements de flexion et des avancées du corps par rapport au ski.

a) structure

Formée de trois arches soutenant une voûte, elle comporte donc trois points d'appui :

- . appui postérieur, en fait double, au niveau osseux : les deux tubérosités postérieures du calcaneum,
- . appui antéro interne, formé par les sésamoïdes de la première métatarso phalangienne,
- . appui antéro externe, formé par la tête du 5 ème métatarsien,

reliés par trois arches :

- . l'arche interne, la plus importante, la plus solide, et la plus cambrée,
- . l'arche externe, beaucoup moins forte et moins cambrée,
- . l'arche antérieure, enfin, de concavité encore moins accusée.

Elles représentent la résultante de l'anatomie tant ostéo-articulaire que musculo ligamentaire, et ne peuvent être étudiées qu'en tant que telles.

1) L'arche interne

Tendue de la tubérosité postéro interne du calcaneum à la première métatarso phalangienne, elle passe successivement par l'astragale, qui en est la clef de voûte, le scaphoïde, le 1er cunéiforme et le 1er métatarsien.

Elle ne conserve sa concavité que grâce aux ligaments (ligaments plantaires), et aux muscles (Add. I., J.P., F.P.I., L.P.L.) qui la sous-tendent, l'adducteur du I tenant lieu de " corde ".

2) L'arche externe

Entre tubérosité postéro externe du calcaneum et tête du 5^{ème} métatarsien, passe par sa clef de voûte, la grande apophyse calcaneenne, puis par le cuboïde et la diaphyse du 5^{ème} métatarsien.

Elle est beaucoup plus rigide, grâce au grand ligament calcaneo-cuboïdo-plantaire. (C'est elle qui, pendant la marche, transmet l'impulsion motrice du triceps). Les muscles agissent comme tendeurs : CPL, LPL, et l'adducteur du 5^{ème} qui tient lieu de corde.

3) L'arche antérieure,

qui passe par les cinq têtes métatarsiennes, a sa clef de voûte au niveau de la deuxième. Elle est sous-tendue, sans grande efficacité, par l'adducteur du gros orteil sur son bord antérieur. Vers l'arrière, la concavité de l'arche est conservée :

- du premier cunéiforme au cuboïde, en passant par le deuxième cunéiforme au faite de l'arche, sous tendue par le LPL,
- puis l'ensemble scaphoïde - cuboïde, sous tendu par les insertions basses du J.P.

De ce fait, du bord interne du pied vers son bord externe, l'obliquité des diaphyses des métatarses va en diminuant : de 18 à 25° pour le premier, elle passe à 15° pour le deuxième, 10° pour le troisième, 8° pour le quatrième, et 5° seulement pour le cinquième, ce qui, compte-tenu des muscles, fait que l'arche externe est inapparente sur le podoscope.

b) Une nouvelle conception de la voûte plantaire, qui a pris jours récemment, apporte quelques lumières sur la statique et la dynamique du pied.

Il s'agit de la notion de "poutres composites interdépendantes".

1) Une "poutre composite" se définit en termes de contrainte mécanique : si on fait subir à une poutre posée sur deux appuis distaux une pression en son milieu, sa partie supérieure travaillera en compression, et sa partie inférieure en traction.

Dans le pied, les éléments travaillant en compression sont représentés par l'architecture ostéo articulaire : la trabéculatation osseuse, longitudinale, est interrompue perpendiculairement par les surfaces articulaires, neutralisant les contraintes de compression.

Les éléments travaillant en traction sont donc constitués par les formations péri articulaires : capsules, ligaments et aponévroses, en tant que tendeurs passifs, et des éléments musculo tendineux en tant que tendeurs actifs, ce qu'illustre bien la situation inférieure des ligaments les plus puissants : calcanéo scaphoïdien inférieur, calcanéo-cuboïdien, et grand ligament plantaire.

2) La notion d'interdépendance peut se traduire par la limitation de la mobilité relative des différents éléments par la tension exercée entre eux par ces mêmes éléments.

L'interdépendance passive rend compte de la statique du pied en charge, alors que l'active représente la mise en jeu neuro musculaire et tendineuse de l'adaptation à l'équilibre.

3) Les corollaires de cette notion, quant à la physiologie du pied en station debout sont les suivants :

+ le pied supporte le poids du corps sans action musculaire (comme le montre l'étude électromyographique). Si on sectionne les éléments inférieurs, il y a affaissement des arches, sans écrasement total toutefois.

Par contre, la stabilité de ce triangle statique est rompue si l'on exerce une rotation sur l'axe tibial : le " déjàugement " de l'astragale par rapport au calcanéum provoque l'effondrement immédiat de la voûte.

On peut donc en conclure que ce triangle statique, en charge équilibrée, se comporte comme une structure mobilisable en monobloc, à la condition qu'il n'existe pas de rotation de l'axe tibial sur le pied (ou inversement).

+ En ce qui concerne l'adaptation à l'équilibre :

- . le calcanéum, en arrière, forme avec la sous-astagalienne et la tibio tarsienne, une suspension de type cardan ne présentant qu'une seule insertion musculaire : celle du triceps sural.

La mobilisation de ce segment dans le sens transversal ne pourra donc se faire que de façon indirecte, tous les mus-

cles de l'équilibration présentant au niveau du calcaneum une gouttière ou une poulie de réflexion : sur sa face interne : LFO et JP ; sur sa face externe : CPL et LPL.

- . en avant, le "clavier métatarsien" présente une amplitude verticale de mouvement, variable suivant le rayon étudié : limitée pour les 2^{ème}, et 3^{ème}, plus importante pour les 4^{ème} et 5^{ème}, peu bridés par des muscles grêles et peu puissants, mais importante pour le premier rayon, des muscles puissants s'insérant sur lui (LPL, JA, extenseurs).

Nous trouvons donc en présence, au niveau du clavier, deux spatules mobiles, l'une interne (1^{er} rayon), l'autre externe (4^{ème} et 5^{ème} rayons), contribuant par leur jeu respectif à l'équilibre transversal de l'avant-pied.

S'il existe une rotation de l'axe jambier, il se produit une divergence entre arrière-pied et avant-pied : l'arrière-pied se mettant en valgus, avec deport en dedans de la tête de l'astragale, et l'avant-pied s'étalant en abduction.

Ces mouvements sont peu souhaitables dans l'enceinte close et déterminée de la chaussure de ski. Aussi, est-il nécessaire d'éviter toute possibilité de rotation de l'axe jambier, et ce, par blocage de la sous astragalienne.

+ Lors de l'appui monopodal, l'équilibration se fait dans deux directions de l'espace (le plan vertical étant constitué par la mise en charge) :

- . dans le plan longitudinal, il y a jeu entre les muscles antagonistes, triceps sural et fléchisseurs plantaires d'un côté, J.A. et fléchisseurs dorsaux de l'autre,
- . dans le plan latéral, au niveau de l'arrière pied, jeu entre J.P. d'une part, CPL et LPL de l'autre. Au niveau de l'avant-pied, le 1^{er} rayon joue un rôle important, équilibré par J.A., J.P. et L.P.L., avec l'aide de la synergie des extenseurs et fléchisseurs de la première métatarso-phalangienne.

C) Etude de la répartition des pressions sur ce modèle, et partant, sur le pied.

Le pied, recevant le poids du corps par l'intermédiaire de l'axe jambier, le répartit sur son appui plantaire, à savoir tubérosités postérieures du calcaneum, et têtes métatarsiennes.

1°) La répartition des pressions, pied à plat

La distribution des pressions sur l'astragale se fait de façon égale entre l'arrière et l'avant du pied.

Les tubérosités postérieures du fait de la massivité de cet os, et malgré un arc boutant postérieur très inférieur en longueur à l'arc antérieur, astragalo-métatarsien, reçoivent donc classiquement la moitié du poids appliqué sur le membre inférieur.

D'après MORTON (1935), la répartition serait donc, pour un poids multiple de six, trois sur le calcaneum et trois sur les têtes métatarsiennes se répartissant en deux pour le premier rayon et un pour le 5^{ème}.

Une conception plus moderne (DUDLEY) accorde au premier rayon un coefficient de 1, et un coefficient de 0,5 pour les 4 derniers rayons.

Quoiqu'il en soit, ceci donnerait, pour un appui monopodal chez un homme de 80 kgs, 40 sur le talon et 40 sur l'avant pied.

LELIEVRE (1967) donne pour le même poids total 45 au talon et 35 à l'avant pied, ce qui nous semble plus plausible, compte tenu de la géométrie osseuse du pied.

2°) En ce qui concerne la chaussure de ski,

une surélévation du talon est observée, comme dans tous les modèles de chaussures. Cette surélévation fait varier la répartition du poids entre l'arrière et l'avant pied. LELIEVRE donne comme chiffres, pour une surélévation du talon de 2 cm, une répartition 40 - 40 d'un poids de 80 kg (auparavant mesurée 45 en arrière, 35 en avant).

Nous avons tenté de quantifier le transfert du poids vers l'avant en fonction de la surélévation du talon par diverses méthodes :

- . utilisation de deux balances en avant et en arrière du pied chaussé et muni d'un ski, en faisant varier l'épaisseur sous talonnière.
- . utilisation d'une plaque de conception récente à cristaux de cholestérol posée sur un podoscope.
- . utilisation d'une poudre composée de micro capsules remplies de colorant, sensibles aux forces tangentiellles qui les écrasaient, donnant une coloration d'autant plus foncée que les forces exercées étaient plus importantes (telles qu'en utilisent certains auteurs américains dans les léproseries, pour pouvoir adapter à leurs malades des chaussures non traumatisantes).

Hélas, ces méthodes, si elles ont pu, pour les deux premières, paraître séduisantes, n'ont apporté que de "belles images", ininterprétables, pour la plaque, et que des désillusions en ce qui concerne les chaussettes imprégnées de poudre.

La seule installation qui serait rentable sur le plan résultats serait, sans doute, un combiné de capteurs de pressions au niveau talonnier et métatarsien. Mais, elle serait certainement très onéreuse pour un gain qui, lui, n'est pas évident.

D) Etude des déformations du pied en charge

Le volume complexe que représente le pied change, lors du passage de la décharge à la charge.

Ce mouvement étant fréquent en pratique du ski, il convient donc de l'étudier.

1°) Globalement

Lors du passage en charge, le pied présente :

- une bascule de l'astragale vers le dedans (2 à 6 mm de

déplacement latéral pour la tête, 2 à 4 mm pour la grande apophyse).

- mettant l'arrière pied en adduction et pronation.
- il se produit alors une cassure-torsion intéressant la médiotarsienne, mettant l'avant pied en abduction et supination.

Les déformations sont donc considérables et affectent les structures architecturales du pied que sont les arches de la voûte plantaire.

2°) Au niveau de l'arche interne, il y a :

- diminution de la hauteur du coussinet plantaire sous talonnier (1,5 mm sur 7 à 10 mm).
- abaissement de la grande apophyse du calcanéum de 4 mm.
- recul (en même temps que bascule en dedans) de l'astragale sur le calcanéum.
- élévation relative du scaphoïde sur l'astragale.
- baillement vers le bas des articulations scaphocunéennes et cunéo métatarsiennes, diminuant ainsi l'angle d'érection du premier métatarsien.
- enfin, recul du talon et avancées des sésamoïdes de la première métatarso phalangienne (en tout, 5 mm).

Sur des radiographies du pied de profil, réalisées en décharge, puis en charge, nous avons réalisé les mesures suivantes :

- distance tubérosité postéro-interne - sésamoïdes : elle passe de 16,6 à 17,1 en charge.
- hauteur par rapport au sol du bord antéro-inférieur du scaphoïde : elle passe de 4,7 à 4,0 en charge.
- angle dont le sommet est le bord antéro-inférieur du scaphoïde et les côtés limités par tubérosité calcanéenne et sésamoïdes : il passe de 121° à 128° en charge.

Ces mesures traduisent donc l'écrasement et l'allongement de l'arche interne.

3°) Au niveau de l'arche externe, nous trouvons :

- la même diminution de hauteur (- 1,5 mm) du coussinet plantaire, le même baillement vers le bas des calcanéocuboïdienne et cuboïdo métatarsienne.
- un abaissement de la styloïde du 5e métatarsien de 3,5 mm.
- un recul du talon avec avancée de la tête du 5e métatarsien de même importance.
- une annulation de l'angle d'érection du 5e métatarsien.

Sur les mêmes radiographies, en prenant pour repères la tubérosité postéro-externe du calcanéum, la tête du 5e métatarsien, et le bord inférieur du cuboïde, nous avons :

- une longueur qui passe de 13,6 à 14,1 cm en charge.
- une hauteur sous cuboïdienne passant de 2,3 à 1,9.
- un angle passant de 141 à 148° en charge.

L'arche externe s'allonge donc de la même façon, et s'aplatit encore pour venir presque complètement au contact du sol.

4°) Au niveau de l'arche antérieure :

Tout se fait autour de la clef de voûte, le 2e rayon (qui définit l'axe longitudinal du pied). Il y a :

- écrasement autour de ce 2e rayon, avec écartement de
 - . 5 mm pour le 1er vers l'intérieur
 - . 2 à 3 mm pour le 3e vers l'extérieur
 - . 3 à 4 mm pour le 4e
 - . 1 à 1,5 mm pour le 5e

soit, au total, élargissement de l'avant pied de 10 à 12,5 mm.

La diminution de hauteur aboutit quasiment à l'annulation de la courbure de cette arche antérieure, tant au niveau des têtes métatarsiennes, toutes en contact avec le sol, qu'au niveau des cunéiformes et du scaphoïde.

5°) En conclusion,

en charge, il se produit une augmentation de toutes les dimensions du pied osseux, à l'exception des dimensions verticales.

Cette augmentation est particulièrement importante au niveau de l'arche antérieure, qui gagne 10 à 12,5 mm en largeur. L'arche interne perd 5 mm de hauteur et les gagne en longueur, tandis que l'arche externe, déjà presque horizontale, ne fait qu'augmenter sa longueur.

Mais il faut également tenir compte des reliefs dus aux parties molles.

En particulier, il y a majoration des déformations à l'endroit le plus charnu, le bord externe du pied, dans la région située entre la calcanéo-cuboïdienne et la 5e métatarso phalangienne.

Cette majoration, difficilement mesurable car sujette aux variations morphologiques individuelles, peut encore s'accroître du fait de la fatigue et de l'oedème (par baisse du retour veineux secondaire à une compression du bas de jambe).

L'appui monopodal, a fortiori, accru par la force centrifuge (comme en virage de descente) ou par des chocs sous le pied (comme en slalom), est encore susceptible de majorer ces déformations. Mais c'est le rôle de la voûte plantaire que de tenter d'absorber ces contraintes supplémentaires.

II. ASPECTS BIOMECANIQUES INTERESSANT L'ADAPTATION A LA TECHNIQUE DU SKI

La coque d'une chaussure de ski est une enceinte rigide et peu déformable de l'intérieur. Ses dimensions doivent donc tenir compte des déformations qui affectent le pied en charge, que l'appui soit bipodal ou, a fortiori, monopodal.

A) Les déformations spécifiques au ski

nous semblent donc nécessiter un apport supplémentaire à la contention réalisée : le support de voûte plantaire.

En effet, l'appui monopodal fréquent s'accompagne pratiquement toujours d'un appui prépondérant sur le bord interne du pied, donc d'une contrainte accrue, s'exerçant sur l'arche interne (la sous astragalienne, les articulations de Chopart et Lisfranc étant considérées, nous le rappelons, comme bloquées).

De plus, la sensibilité proprioceptive au niveau du pied, chez le skieur, réclame une information la plus importante possible en ce qui concerne le bord interne du pied, et ce, sur toute sa longueur "utile", du calcanéum à la base de la phalange du gros orteil. Un contact est donc nécessaire sur ce bord interne, qui doit être à la fois assez ferme pour qu'il puisse s'y appuyer, et assez souple et de contours suffisamment arrondis pour ne pas créer de "point dur". Ces critères sont assez peu concordants pour qu'il ne soit guère fréquent de trouver un support de voûte plantaire bien adapté, et bien placé.

B) La cassure-torsion du pied

lors de la mise en charge semble nécessiter, pour tenter d'annihiler la bascule de la tête de l'astragale en dedans, une éversion légère de l'appui talonnier vers le dehors. Ceci pourrait contribuer à limiter les déformations présentées par le pied osseux.

C) L'attitude nécessairement semi fléchie du skieur

peut entraîner, à la longue, une fatigue accrue des muscles sollicités par l'équilibration. Il convient donc de diminuer cet angle de flexion de la jambe sur le pied, en surélevant le talon. Mais, la marge de surélévation (que nous appellerons ΔH) est faible entre l'inefficacité et le passage à un appui préférentiellement digitigrade, qui risquerait de causer encore plus de fatigue musculaire que l'appui purement plantigrade.

D) La compressibilité des différentes structures architecturales du pied est également un point à discuter :

- l'arche interne se comportant comme un ressort flexible, si

le poids se porte en dedans de l'astragale, est donc compressible sans grands restrictions.

- Par contre, l'arche externe l'est déjà nettement moins (pour une raison bien simple : elle disparaît pratiquement en charge). Son appui sur la totalité de sa longueur serait douloureux à court terme, du fait de la présence de l'apophyse styloïde de la base du 5e métatarsien.

- L'arche antérieure, quant à elle, ne doit de conserver sa concavité qu'aux muscles qui la sous tendent. Toute tentative d'écrasement par un appui supérieur serait, là aussi, très vite douloureux et insupportable.

La répartition en longueur des différents rayons métatarsiens a fait l'objet d'études statistiques importantes qui ont pu distinguer, selon les variations individuelles importantes, 5 types de pied :

- le pied "grec" (13,1 % des cas) : $2 > 1 > 3 > 4 \geq 5$
- le pied "standard" (9,2 %) : $2 > 3 > 1 > 4 \geq 5$
- le pied égyptien (47,8 %) : $1 > 2 > 3 > 4 \geq 5$
- le pied carré (3,1 %) : $1 = 2 = 3 = 4 \geq 5$
- le pied semi-carré (23 %) : $1 = 2 > 3 > 4 \geq 5$

D'après cette répartition statistique, plus de 70 % des pieds ont un premier rayon prédominant ou de longueur égale au 2^eème. Mais, il existe 23 % des cas dans lesquels le 2^eème rayon dépasse les autres en longueur.

Pour cette raison, l'appui sous les têtes métatarsiennes, dans la chaussure de ski, devra avoir certaines dimensions, en longueur et en largeur, afin d'accepter tous les types de pieds, et il devra, pour la même raison, être plat (et non semi-formé).

- Toujours en ce qui concerne la compressibilité, les zones situées entre les articulations de Chopart et de Lisfranc sont plus indulgentes vis-à-vis d'une éventuelle surpression : plus résistantes, sous tendues par des muscles plus puissants, elles supporteront mieux un appui direct.

Cet appui direct sera, de même, mieux accepté sur le bord externe du tarse, le bord interne étant le siège de mouvements de la part de la tête de l'astragale.

- Le jeu de l'articulation tibio péronière inférieure est

également à prendre en considération : toute compression ne permettant pas les 5 mm de jeu latéral serait mal accueillie par le skieur qui se sentirait "bridé" dans ses mouvements de flexion - extension.

- Enfin, il convient de prévoir, dans la chaussure de ski, une surface de glissement antérieur, située sous les appuis métatarsiens et les orteils, d'au moins 5 mm de long, afin d'accepter le déplacement vers l'avant de ceux-ci lors des mises en charge (le talon étant maintenu et fixé, comme il est souhaitable, ce sera l'avant-pied seul qui assurera le déplacement global vers l'avant).

Une étude précise de la marge de mouvements permise à l'axe jambier lors de la flexion - extension, marge réduite par rapport aux possibilités anatomiques, sera envisagée dans le chapitre suivant.

CRITÈRES EXIGÉS PAR LA CHAUSSURE DE SKI DE COMPÉTITION

Nous structurerons notre étude en nous référant aux mots de Jean-Claude KILLY :

"la chaussure de ski doit être à la fois un étau et une pantoufle".

Cet aphorisme a le mérite de mettre en évidence les deux aspects - différents et difficilement conciliables - de la chaussure de ski :

- la technicité, ou capacité de répondre aux desiderata de la technique actuelle du ski de compétition,
- l'adaptation au pied, ressentie sous la notion vague, mais ô combien importante, de confort !

Si pour le premier aspect, les desiderata peuvent être considérés comme univoques, il n'en est pas de même pour le second, ce qui tend à prouver que la chaussure " idéale " ne peut exister, au moins pour une raison : la variabilité morphologique des pieds des individus.

Pour cette étude, nous envisagerons successivement :

- un rappel sommaire de la technique actuelle du ski de compétition, schématique, puis en fonction des différents types

d'épreuve.

- une proposition de critères mesurables de comparaison.
- une étude de l'adaptabilité et de la fiabilité.
- un bref rappel des conséquences pathologiques liées à l'usage de la chaussure de ski.
- avant de conclure en soulignant une trentaine de points importants.

I. RAPPEL DE LA TECHNIQUE ACTUELLE DU SKI DE COMPETITION

A) Schématiquement,

trois composantes se détachent :

- l'équipement qui conditionne la structure de la chaussure,
- l'attitude du skieur en trace directe (position dite indifférente ou neutre) qui détermine certains critères mesurables,
- les différents mécanismes de changement de direction.

1°) L'équipement (utilisé en compétition)

se compose de :

- skis : structure longitudinale, dont l'axe correspond à celui du pied (2e rayon) de 200 à 225 cm de long, selon la discipline et de 60 à 70 mm de large au niveau du patin recevant l'appui plantaire. Ils présentent certaines propriétés mécaniques (élasticités, résistance dans les différents axes - liée à leur structure interne.)

Leur face inférieure est composée d'une semelle la plus glissante possible creusée d'une rainure médiane contribuant à la stabilité du ski en trace directe, et de carres métalliques continues, dont l'arête est aussi nette ("affûtée") que possible, susceptible de couper aussi bien un tissu que de guider le ski sur glace.

- fixations : en compétition, seuls sont utilisés des combinés comprenant :
 - . une butée avant, à déclenchement latéral, compensant ou non les efforts verticaux (Salomon 727),
 - . une butée arrière, à déclenchement vertical, pouvant comporter également une ouverture latérale (Tyrolia).

De ces deux points de fixation de la chaussure, l'un antérieur, l'autre postérieur, seul l'antérieur est fixé, le postérieur pouvant être capable d'un recul pour absorber une différence de longueur entre patin du ski et chaussure lors du passage dans un trou (ex : Salomon 727).

- enfin, des chaussures, fixées sur le ski par l'intermédiaire des fixations, permettant à l'heure actuelle une technique assez univoque, car passée au moule de la compétition internationale.

2°) L'attitude du skieur en position neutre ou indifférente
(telle qu'on peut la rencontrer en trace directe sur pente douce, dans une enfilade de Slalom Special ou de Slalom Géant, par exemple)

a) elle comporte, sur le plan longitudinal, une recherche du glissement maximal. Le poids du skieur est donc réparti de façon équilibrée sur toute la longueur du ski (en fait, pour une pression centrale de 40 kgs, la répartition se fait : 30 sous le patin, 5 sous la spatule et sous le talon. Elle est due aux caractéristiques techniques du ski lui-même). Ce poids est donc appliqué dans l'axe du pied, et donc du ski.

Mais, il existe tout un éventail de possibilités de flexion de la jambe sur le pied, tout en gardant le centre de gravité au milieu de ski (c'est l'angle de flexion équilibrée).

La position du skieur sera d'autant plus basse (comportant donc une horizontalisation du segment crural) que la vitesse est plus importante, aboutissant à la position bien connue du "schuss".

A partir de cette position, le skieur peut se placer en :

- avancée (augmentant le poids sur la spatule). Cette prise d'avancée n'est plus très utilisée actuellement.
- recul, avec verticalisation du segment jambier, et appui prépondérant sur le talon du ski. Cet appui postérieur est utilisé pour les accélérations en virage (avancée des jambes sous le corps).

b) Sur le plan transversal, la recherche du glissement oblige à mettre complètement à plat les semelles des deux skis, sans aucune action des carres. L'écartement des pieds, pour ce faire, peut varier selon la morphologie de l'individu et les chaussures utilisées (notion d'angles de calage latéral).

Cette position n'est prise (hormis en descente), que très peu de temps et sert, un peu artificiellement, de référence, la majorité des parcours de slalom (spécial ou géant) étant faite de changements de direction plus ou moins brusques, négociables grâce à des courbes de rayon variable.

3°) La technique du virage de base

Là encore, cette distinction est artificielle, mais elle peut contribuer à la décomposition biomécanique de mouvement, ceci afin de mettre en évidence les qualités mécaniques successives à la chaussure de ski.

Ce virage, skis parallèles, ou peu s'en faut, se fait idéalement sur "coupé équilibré" du ski, c'est-à-dire :

- sans dérapage, mise du ski sur sa carre interne et appui perpendiculaire à celui-ci afin de fléchir le ski suffisamment pour lui donner une courbure égale à celle du virage.

Cet appui est fonction :

- de la pression exercée et de la vitesse (donc de la force centrifuge),
- des qualités mécaniques du ski,
- de l'angulation du ski, et donc du segment jambier par rapport à la pente.

Ce virage se fait en appui bipodal ou monopodal (sur le pied externe), plus souvent (l'autre ski interne au virage étant divergent, ou très décalé vers l'amont, afin de procurer une accélération, ou d'augmenter le rayon de courbure par "projection latérale").

- sur le plan biomécanique, ce virage nécessite :
 - . une avancée des membres inférieurs sous le corps (accélération en début de virage),
 - . une rentrée des genoux vers l'intérieur (dont le degré varie avec le rayon du virage et la vitesse) entraînant la mise

en carres du ski.

- . une poursuite du virage avec flexion des jambes vers l'avant pour revenir à une attitude équilibrée et éviter tout dérapage par appui postérieur (récupération de l'attitude de recul).
- . une fin de virage avec flexion des jambes pour revenir.

4°) Les applications de ces notions à l'ensemble cheville-pied sont donc les suivantes :

- . Permission, pour l'axe jambier, d'une flexion-extension pure, dénuée de toute rotation sur le pied.
- . freinage et arrêt de ce mouvement, tant en avant qu'en arrière.
- . tenue latérale parfaite du pied, réclamant le blocage de la sous astragaliennne et des articulations de Chopart et Lisfranc, de façon à ne permettre au pied que les mouvements d'angulation déterminés par la rentrée du genou.
- . placement du segment jambier dans la "bonne" attitude, en position indifférente, dès serrage de la chaussure.
- . interdiction, ou au moins, limitation des mouvements de torsion de l'avant-pied.
- . en corollaire, le pied doit donc rester fixe dans la chaussure, sans autorisation de glissement ou de soulèvement de l'arrière-pied, afin de ne pas perturber les prises d'appui. Le talon doit donc conserver une position inamovible, tant dans les plans longitudinal que sagittal ou transversal.
- . les déformations en charge ou en mouvement doivent être également prises en considération dans la détermination de la structure de la chaussure, qu'il s'agisse des déformations de la voûte, du glissement de l'avant-pied, ou du jeu de la péronéo-tibiale inférieure.

B) Variations selon les différents types d'épreuve

Après avoir rappelé les caractéristique des épreuves (SS, SG et D), nous en soulignerons les particularités du point de vue technique avant d'extrapoler ces particularités à la structure de la chaussure de ski.

1) Le Slalom Spécial

a) Epreuve courte, disputée en deux manches différentes, elle se court à une vitesse moyenne faible, sur un parcours comprenant de nombreux changements de direction.

D'un dénivelé de 180 à 220 mètres, sur une pente comprenant au moins un quart du parcours incliné à plus de 30°, elle doit "allier une vitesse maximum à l'élégance et à la précision des virages".

Les portes 55 à 75, disposées selon des figures (portes ouvertes, fermées, chicanes, saalvis, enfilades) sont plus larges (4 à 5 mètres), et plus espacées (moins de 4 à 5 mètres de dénivelé).

Le temps de course varie entre 50 et 80 secondes par manche et correspond donc à un "sprint" dans une forêt de piquets.

Les qualités primordiales développées sont : réflexe, rapidité d'exécution et d'adaptation au terrain, une force physique pas nécessairement très grande, mais toute en souplesse.

Le matériel comporte des skis courts (200 à 205 cm), mais nerveux, très vifs en réaction, et très "accrocheurs" sur une neige souvent dure ou même glacée.

b) Les particularités de la technique propre à cette épreuve peuvent être résumées en cinq points :

- appuis violents, brefs et puissants, sur le ski, avec passages fréquents en décharge (enchaînement rapide de virages, à faible rayon),

- recherche de l'accélération en virage, par appui équilibré ou même en recul, sur le ski externe,

- indépendance des jambes, avec un appui très souvent monopodal,

- angulation importante (pénalisant les coques très larges des chaussures sur pente forte),

- amplitude importante des mouvements dans tous les plans.

c) En ce qui concerne la chaussure, les compétiteurs utilisent généralement une chaussure comportant une tige haute et rigide, donnant immédiatement un appui à la jambe. Actuellement, la notion d'élasticité de la tige gagne du terrain, en tant qu'adjuvant à la vivacité des réactions en flexion - extension.

Bien sûr, aucun flottement latéral n'est permis, la tige devant "coller" au bas de jambe, et le talon devant être bloqué, dans tous les plans.

2) Le Slalom Géant

a) Epreuve plus longue, en deux manches, courue à une vitesse moyenne plus importante (65 km/h), dont le tracé "constitué d'une alternance judicieuse de grands, moyens et petits élans, laisse au concurrent une relative liberté dans le choix de sa ligne de course.

Couru sur une pente de 250 à 500 mètres de dénivelé, large de plus de 30 mètres, vallonnée, bosselée, le slalom Géant comporte 30 à 45 portes, larges (4 à 8 mètres), distantes entre elles, de 10 mètres de dénivelé.

Le temps de course varie, par manche, de 1 minute à 1' 40"

Le Slalom Géant nécessite des skis plus longs (210 à 215 cm), plus souples, mais cependant capables de résister à des efforts importants en flexion ou en torsion.

Les virages, plus coulés, la vitesse plus grande, le temps de course plus long, nécessitent des qualités athlétiques confirmées, tout en réclamant les mêmes atouts que le Slalom Spécial, de la part du compétiteur.

b) Sur le plan technique, trois points le différencient du Slalom Spécial :

- recherche plus fine du glissement,
- courbes plus longues, appuis plus prolongés sur les skis, nécessitant une parfaite maîtrise du virage, type : le coupé équilibré,

- l'appui, plus souvent bipodal, n'est cependant pas toujours symétrique. La décomposition des mouvements permise par les grandes courbes autorise des prises d'accélération plus importantes qu'en Slalom Spécial (projection latérale, propulsion avec avancée des pieds sous le corps),

- l'amplitude des mouvements reste la même, importante, entre la station quasi debout et l'accroupissement. Les changements de pente plus fréquents, obligent également le compétiteur à de fréquentes angulations.

c) Pour la chaussure de ski, une adaptation idéale au pied est nécessaire, du fait de l'effort prolongé, mais, schématiquement, les qualités mécaniques réclamées restent similaires. La flexion vers l'avant demande cependant une amplitude supérieure, sans toutefois atteindre celle obtenue en descente.

3) La Descente

a) épreuve reine, courue sur une manche, c'est une course de vitesse pure. Elle nécessite, à la différence du Slalom Spécial ou du Slalom Géant, une reconnaissance et des parcours d'essais sur le tracé, pendant au moins trois jours avant la compétition.

Longue (dénivellé de 800 à 1000 mètres, plus de deux minutes de course), comportant des portes larges (plus de 8 mètres), et espacées, (ne correspondant qu'au balisage des changements de direction), la piste nécessite un terrain varié, mais largement dégagé, et dont les difficultés doivent être protégées (filets, portes supplémentaires destinées à contrôler la vitesse.)

La Descente est une épreuve "dans laquelle entrent en jeu l'audace, la rapidité des réflexes, la technique et la forme athlétique, nécessitant concentration, et grande résistance physique".

Le tracé doit posséder le plus grand nombre de difficultés techniques permettant au coureur de prouver la pleine possession de ses qualités.

La vitesse moyenne varie entre 90 et 110 km/h.

Le terrain, très varié, de même que le parcours, présentent

des changements de pente, de longs schuss favorisant la recherche d'un glissement maximal, de larges courbes ou des changements de direction plus serrés, et des reliefs représentant des bosses ou des compressions à absorber.

Le matériel utilisé comporte :

- des skis longs (220 à 225 cm), de mêmes caractéristiques que leurs homologues de slalom, mais plus lourds et plus aptes à garder une droite ligne,

- une combinaison et des cannes, profilées, pour un meilleur aérodynamisme,

- enfin, un casque, protection obligatoire, et bien souvent nécessaire.

b) Les particularités d'ordre technique, déjà envisagées, obligent à une forme athlétique parfaite, de même qu'à un sens du glissement maximal, tant skis à plat (schuss) qu'en carres (grandes courbes), afin d'éviter toute source de freinage.

L'appui monopodal est presque exclusif dans les courbes à grand rayon, avec une absorption des inégalités de terrain par jeu des membres inférieurs sous le corps.

La position très basse, classiquement en "oeuf", afin de procurer un profilage nécessaire en permanence, oblige, lors des passages de bosses, à une remontée des genoux devant le tronc, et, lors des courbes, à une flexion importante des jambes.

c) En ce qui concerne la chaussure de ski, quatre impératifs se détachent :

- mise à plat du ski, la plus parfaite possible : le calage latéral des chaussures doit être strictement adapté à la morphologie du coureur,

- contraintes mécaniques importantes, réclamant une fiabilité à toute épreuve, tant des matériaux que des systèmes de serrage,

- amplitude des mouvements plus grande qu'en Slalom, au niveau du bas de jambe, en flexion : nécessitant des chaussures à tige moins haute, et surtout plus souple en flexion,

- enfin, si la notion de confort peut être superfétatoire, il n'en reste pas moins la nécessité absolue de conserver la sensibilité du pied, et donc, d'éviter tout point dur dans la chaussure. De même, un amortissement des vibrations est souhaitable.

4) Deux autres types d'épreuves sont à citer rapidement :

. Les épreuves parallèles, courues simultanément par deux ou plusieurs compétiteurs sur des tracés aussi semblables que possible, plus courtes (20 - 25 "), sur un dénivelé de 80 à 100 mètres, comprenant 10 à 30 portes. La technique réclamée est la même que celle du Slalom Spécial ou du Slalom Géant.

. Le kilomètre lancé, épreuve de vitesse maximale sur une pente lisse, au profil étudié, courue en deux catégories :

- équipement de descente normale (vitesse atteinte : 174 Km/h)
- équipement spécial (skis de 2,40 m à triple rainure, combinaisons lisses, casques profilés), permettant une vitesse actuelle de 198,342 km/h)

Pour cette épreuve, unique, les qualités réclamées à la chaussure sont plutôt l'invariabilité et la solidité, que les qualités précédemment citées.

II.- PROPOSITION DE CRITERES MESURABLES DESTINES A LA COMPARAISON DES CHAUSSURES DE SKI

Deux types de critères mesurables peuvent être définis :

- ceux qui se rapportent à l'anatomie ou à l'aspect visible de la technique : pointure, angles de flexion, de calage latéral, mesure du ΔH ,

- ceux qui font intervenir des notions plus spécifiques de la chaussure : flexibilité, élasticité, poids.

A.- Critères anatomiques de définition

1) Pointure : elle est définie, jusqu'à présent, par la longueur "hors tout" du pied, de l'extrémité du talon à celle du gros orteil. Or, en pratique de ski, les orteils n'ont pas une importance capitale, et leur moulage, en particulier au niveau des extrémités distales, ne serait que néfaste. Seul le gros orteil, par sa face plantaire et son bord interne, est utile, car en prolongement de la zone de sensibilité interne du pied.

Une nouvelle définition serait donc souhaitable, d'autant plus que le morphotype du pied est très variable d'un individu à un autre.

Dans le but de mieux adapter la chaussure au pied, plusieurs paramètres peuvent être retenus, isolés ou associés :

- largeur maximale du pied en charge,
- hauteur du pli de flexion de la cheville (mais peu facilement mesurable),
- volume du massif osseux au niveau du cou-de-pied par mesure de la circonférence passant par le cou-de-pied et le bord postérieur du talon, qui (d'après les données mécaniques et statistiques du CTC) serait plus représentatif du volume du pied, appelé PCT (périmètre court du talon), ou - ce qui serait encore mieux, mais là aussi on se heurte à des problèmes de mesure : le PLT, périmètre long du talon - mesuré de la même façon en prenant comme point de repère en avant les saillies osseuses du scaphoïde.

Dans le cas des chaussures de ski, il serait donc nécessaire de définir un pied "modulaire", tenant compte des saillies osseuses, non compressibles, déjà étudiées.

2) Hauteurs de tige : mesurées sur la verticale, elles concernent les parties antérieures et postérieures de la coque (composante rigide), et du chausson (composante déformable). Ces mesures ont pour intérêt de rendre compte du siège des surfaces d'appui avant et arrière au niveau du bas de jambe, et d'expliquer certains traits pathologiques observés.

3) ΔH ou surélévation du talon par rapport à l'avant-pied ("footbed angle")

Les chaussures comportant toutes une semelle interne destinée à surélever l'appui talonnier, il était intéressant d'étudier l'amplitude de cette dénivellation, afin de pouvoir, empiriquement, discerner la marge utile entre l'inefficacité par appui trop plat et le passage vers l'appui digitigrade, nuisible et douloureux, sous les têtes métatarsiennes.

Le mesure peut se faire sur la chaussure isolée, en faisant la différence épaisseur sous talonnière - épaisseur sous l'appui antérieur.

A ce ΔH correspond un "angle de calage" longitudinal du pied (mesuré à partir des deux semelles interne et externes).

4) Angle de flexion équilibré ("forward lean")

Notion que nous définissons comme l'angle selon lequel un skieur en position indifférente place son segment jambier par rapport à la verticale, l'angle de flexion équilibré correspond à la position du segment jambier d'un skieur dont l'appui vertical sur le ski serait également réparti, donc en position de glissement maximal. Il s'agit d'une position de référence, à partir de laquelle le skieur :

- accentue sa flexion (augmentant l'angle de son segment jambier sur la verticale), en entrant en appui sur la partie avant de la tige,

- ou redresse ce segment jambier pour venir s'appuyer à la surface d'appui arrière de la tige.

Cet angle peut être mesuré :

- soit à partir de la verticale (AFE "sol")

- soit, et ce sera notre élément de comparaison, de la perpendiculaire à la semelle interne (AFE "semelle"), rendant mieux compte de l'angle de flexion réel de la tibio astragaliennne, car tenant compte du ΔH , variable selon les chaussures.

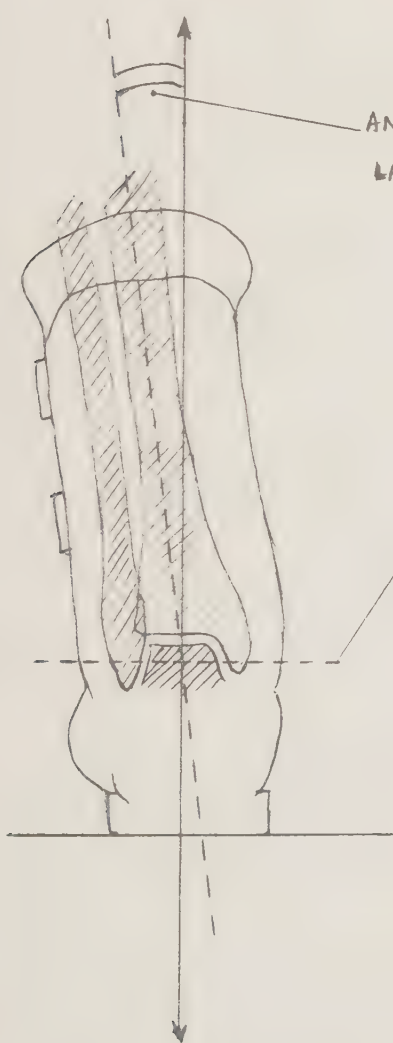
5) Angle de calage latéral de la tige :

H. CHAUSSON AR.
H. TIGE AR.
H. CHAUSSON AV.
H. TIGE AV.

MÉTHODES DE MESURE
DES DIFFÉRENTS CRITÈRES
ANATOMIQUES PROPOSÉS.

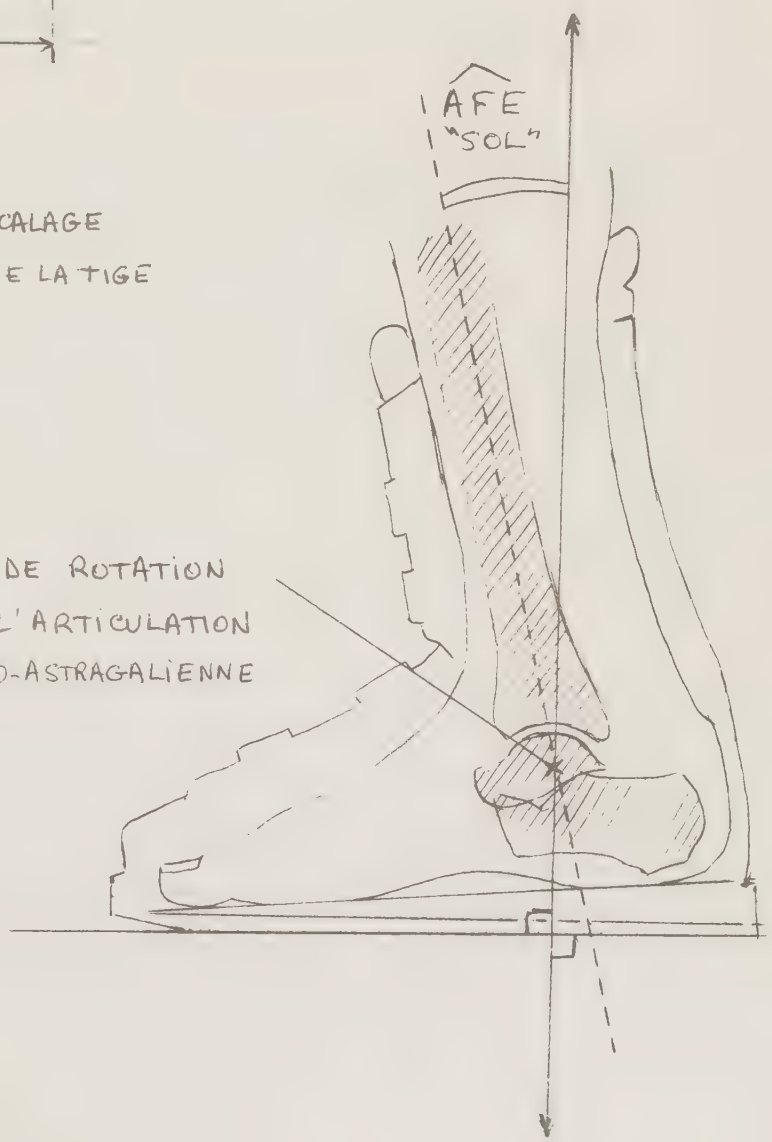


ANGLE D'INCLINAISON
DU PIED SUR LE SOL.



ANGLE DE CALAGE
LATERAL DE LA TIGE

AXE DE ROTATION
DE L'ARTICULATION
TIBIO-ASTRAGALIENNE



La construction des chaussures tient compte du léger varus du tibia, variable selon les individus. Ce calage latéral est d'une importance capitale pour la mise à plat du ski dans le sens transversal, et donc pour le glissement maximal.

Cet angle est d'obtention aisée, en mesurant le calage moyen de la tige dans le plan transversal, par rapport à la verticale.

B.- Critères mécaniques de la chaussure

Ce sont surtout des critères dynamiques intéressant le seul mouvement véritablement autorisé : la flexion - extension de la jambe sur le pied.

1) Limites angulaires extrêmes du mouvement de flexion - extension.

Ces limites sont difficilement mesurables, et de peu d'intérêt : en effet, elles varient, pour une même chaussure, selon la force musculaire et le morphotype de l'utilisateur (en particulier, la longueur du bras de levier intervient, comme nous le verrons plus loin).

Globalement, nous pouvons néanmoins donner comme limites extrêmes, en arrière : 0° (par rapport à la verticale) ; tout dépassement, sans préjuger de l'inconfort causé, nuit au pilotage du ski du fait de la répartition exclusivement postérieure du poids.

En avant, il est beaucoup plus difficile de se prononcer, étant bien entendu que la limite sera inférieure à celle engendrée par la bio mécanique propre de la tibio astragaliennne (25 à 30°)

2) Dureté en flexion et en extension

Quantifiable grâce à des techniques de mesure plus sophistiquées, cette notion n'est, hélas, pas parfaitement représentative des qualités d'une chaussure (pour les mêmes raisons que précédemment). Le principe de mesure est le suivant : le couple de force engendré en haut de tige étant connu, on mesure la déformation angulaire de cette tige.

(Les auteurs américains ont créé cette technique, en prenant comme unité de mesure de force les Feet/Lbs, avec comme points repères 100 Ft/Lbs et maximum en flexion 50 Ft/Lbs et maximum en extension.)

Ces mesures ne donnent qu'un aspect ponctuel d'une notion qui se présente en fait comme une courbe, représentant la flexibilité.

3) Flexibilité

Elle peut être définie, comme la résistance que la tige oppose (tant en flexion qu'en extension), à toute prise d'appui antérieure ou postérieure, mesurée en Nm /° , à des points repères, ou sur courbe. Le dispositif de mesure, complexe, prend en compte deux variables :

- . la déviation angulaire de la tige, en abscisse
- . le moment de la force exercée, en ordonnée

La courbe ainsi réalisée est limitée par deux valeurs, considérées comme asymptotiques du point de vue humain (en bout de course, le mouvement étant freiné, puis stoppé par la douleur, en butoir anatomique, ou une contrainte tégumentaire trop importante).

Cette courbe comporte donc, lors d'un mouvement comprenant flexion extrême, puis extension extrême :

- un point de départ situé en abscisse ; la valeur de l'AFE
- une partie ascendante jusqu'à tendre vers la valeur asymptotique postérieure (limite de l'extension extrême),
- le retour au point de départ.

Ces différentes parties ne sont pas linéaires : il existe une différence entre la prise d'appui et le retour au zéro, toujours négative ; nous rapprochons cette différence dans les deux parties de la courbe, de la notion d'élasticité (que nous évoquerons plus loin).

Les pentes moyennes de ces courbes sont, bien sûr, significatives de la flexibilité = plus les valeurs angulaires limites sont faibles, plus les tiges sont "dures" ; l'inverse étant également vrai.

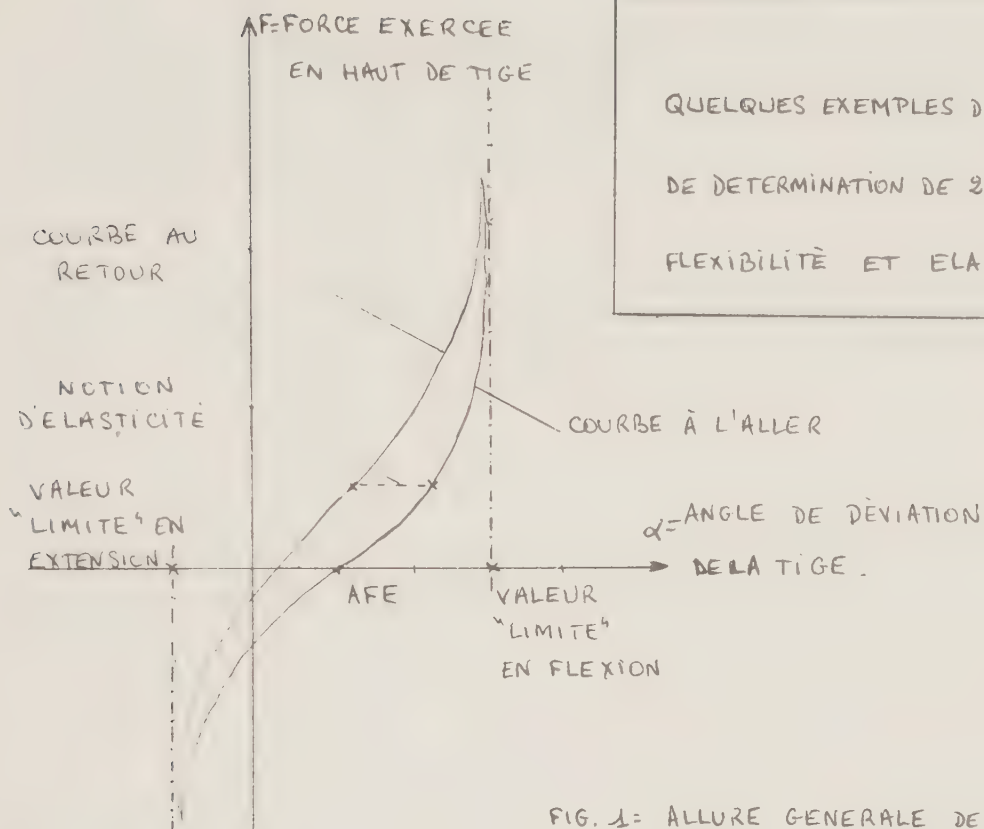
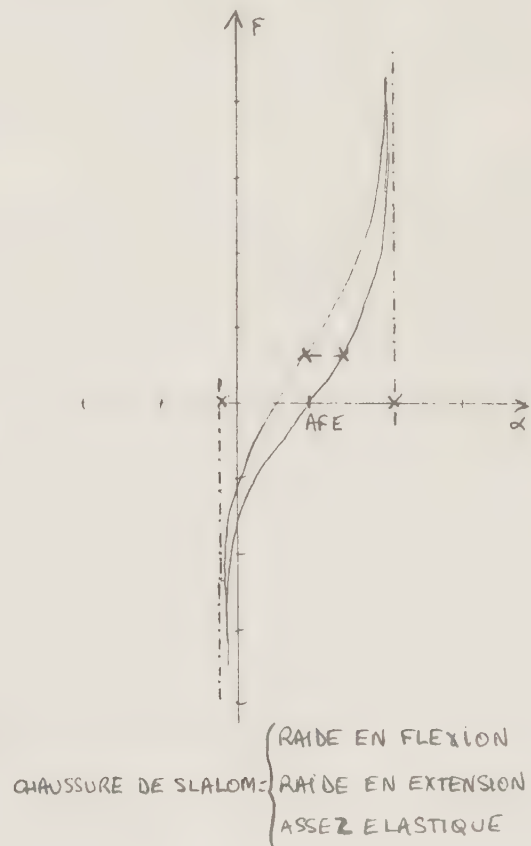
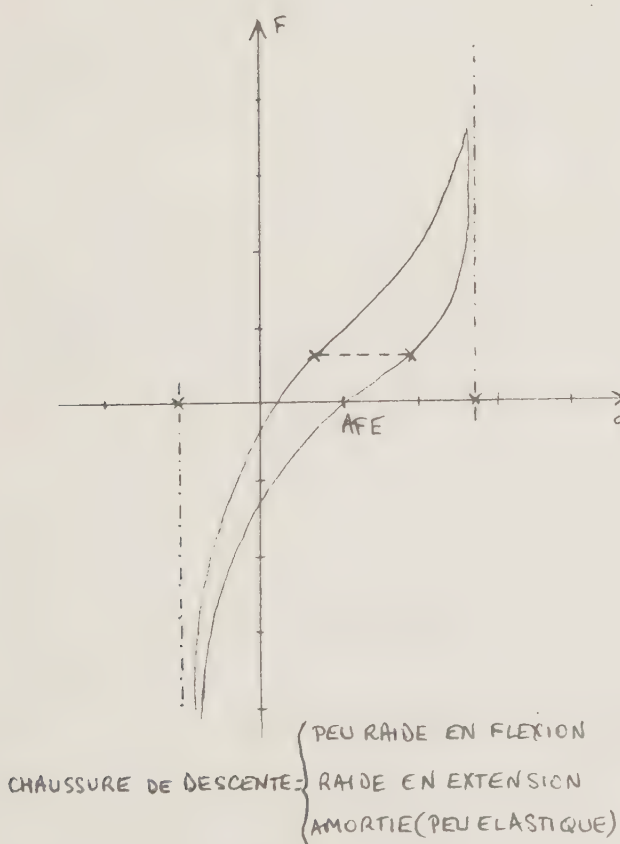


FIG. 1: ALLURE GÉNÉRALE DE LA COURBE.



4) Elasticité

Cette notion nouvelle, que l'on peut définir comme la capacité de la structure de la chaussure à revenir à son attitude initiale (AFE) après toute déformation, commence à faire sentir actuellement son utilité. En effet, les prises d'appui dynamiques sont monnaie courante en compétition de nos jours, alors qu'il y a encore cinq ans, cette qualité n'était guère recherchée.

Difficilement mesurable subjectivement, l'élasticité ne peut, à notre sens, être appréhendée que grâce aux courbes de mesures de flexibilité ; l'écart entre les courbes "d'aller" et de "retour" en est un reflet fidèle, mais peu quantifiable, du moins actuellement.

Donc, plus les deux courbes sont rapprochées et superposables, plus l'élasticité de la chaussure est grande. On peut donc en conclure qu'une chaussure idéalement élastique est celle dont les deux courbes de mesure ne feraient qu'une. Mais l'utilité et la "skiabilité" de cette chaussure, inexistante pour l'instant, restent à démontrer.

5) Poids

Il représente un facteur important. Le poids suspendu à chaque pied représente celui, additionné, du ski (variant entre 2 et 2,5 kg) de la fixation (0,5 à 1 kg) et de la chaussure (moyenne : 2 kg) ; il représente donc, environ, 5 kg. Toute variation du poids de la chaussure (qui représente donc 40 % du poids total suspendu au pied) se traduira donc, mathématiquement, et subjectivement, par un changement.

Les skieurs qui utilisent en compétition un matériel sans cesse amélioré sur le plan technique, sont accoutumés à "sentir" à leurs pieds un certain poids. Une amélioration importante pourrait donc ne pas être bénéfique, d'autant que, malgré les progrès réalisés en pétrochimie, tout allègement outrancier peut conduire à une baisse de rendement et de niveau de qualités de cette chaussure "allégée".

III.- ETUDE DE L'ADAPTABILITE ET DE LA FIABILITE DE LA CHAUSSURE DE SKI

A) La chaussure de ski doit être une pantoufle

Elle doit donc être confortable à tous égards :

1) par sa structure : aucun point dur ne doit être perçu, aucune perception locale douloureuse, ou susceptible de le devenir, sur toute partie du pied engainée et comprimée, ne doit se voir, qu'elle soit d'ordre osseux (in situ), musculaire (in situ ou sous l'effet de la fatigue), ou vasculo nerveux (en aval).

La contention du pied doit donc se faire, surtout sur les zones "non compressibles " :

- de façon douce, non traumatisante (ou par l'intermédiaire d'une surface de répartition),

- non génératrice de déformation des structures anatomiques.

Le moulage doit être particulièrement adapté au niveau des zones d'appui et de sensibilité maximales du pied.

2) par son confort thermique : le pied du skieur est placé dans un environnement hostile :

- il est comprimé (candidat de ce fait à la douleur et à l'oedème)

- la station debout en charge est plus fréquente et prolongée qu'en temps normal.

- ses mouvements intrinsèques sont d'amplitude restreinte

- c'est une extrémité distale, donc éventuellement sujette à des problèmes de vascularisation.

- enfin, il est au contact presque immédiat de la neige, et du froid.

Nécessité est donc de concevoir une chaussure procurant :

- une isolation thermique correcte (pas de "courants d'air" ou de parties découvertes, même indirectement : la mode des fuseaux recouvrant le haut de tige de la chaussure en est un exemple de plus).

- une imperméabilité correcte, car la neige fond, au contact de la chaleur de l'organisme (pas d'orifices ou de fentes par où la neige peut rentrer : même exemple des fuseaux).

- une limitation de la sudation à l'intérieur de la chaussure, corollaire d'une bonne isolation thermique (mais certains athlètes transpirent beaucoup. L'emploi semble souhaitable d'un matériau au contact du pied, ou de la chaussette, qui puisse absorber cette transpiration, et la restituer, une fois la chaussure vide (pour éviter la macération génératrice d'intertrigo ou d'athletic foot).

3) par son poids : nous avons déjà étudié ce problème tant sur le plan confort musculaire que technicité. Il semble résolu heureusement au niveau de la plupart des chaussures actuelles.

B) La fiabilité et la sécurité véritable "confort psychique"

1) L'utilisateur d'un équipement attend de celui-ci qu'il reste égal à lui-même, sans variation de ses qualités. La fiabilité d'une chaussure de ski doit se retrouver dans toutes ses composantes :

- les matériaux :

- . tant sur le plan de leurs qualités mécaniques (solidité, dureté, élasticité, mémoire de la forme, longévité, imputrescibilité, résistance aux agressions extérieures telles que le froid vif, les "coups de carres", les chocs contre les piquets ou les chutes).
- . que sur celui de l'immovibilité des éléments fixés entre eux (non dessertissage de rivets, boucles).

- la facilité d'emploi, même et surtout, au stade de haute compétition, les skieurs serrant et desserrant très fréquemment leurs chaussures :

- . facilité de chaussage et de déchaussage,
- . facilité de pose et d'ablation du chausson hors de la coque pour un éventuel séchage,
- . facilité de fermeture et de serrage de la chaussure (l'action inverse étant rendue plus aisée, de par l'amplitude des forces s'exerçant sur les systèmes de serrage),
- . avec, en corollaire, la non-ouverture de façon intempestive, en course bien sûr.

(Les mêmes qualités étant demandées aux dispositifs de

réglage autres : calage latéral, flexion, etc ...).

2) La sécurité apportée par la chaussure contribue au confort psychique du skieur. Elle se met en évidence sur plusieurs plans :

a) la rigidité de la semelle, dans tous les plans, permettant un jeu optimum des fixations de sécurité, toutes basées (en compétition du moins) sur ce critère.

La conformité des extrémités antérieure et postérieure de cette semelle aux systèmes de maintien des fixations (butée avant et talonnière), actuellement standardisée par l'IAS (Bureau Internationale de la Sécurité à ski, à BERNE) sous les normes DIN 7880.

Ces reliefs ont schématiquement la forme suivante :

- . à l'avant : languette épaisse, à bords parallèles, presque parallélipipédique,
- . à l'arrière : débord postérieur arrondi sur son pourtour, à bords supérieur et inférieur parallèles et horizontaux.

(Les différentes cotes, définies par la norme DIN 7880 sont à l'heure actuelle respectées par tous les fabricants de chaussures et de fixation).

b) les formes de la chaussure (et de ses dispositifs attenants) se doivent d'être :

- le moins vulnérantes possible, à l'emploi et en cas de chute (ex. : crochets de serrage du haut de tige participant à la lacération du mollet).

En cas de lésion, surtout fracturaire, la chaussure sert :

- dans un premier temps, à la constitution d'une attelle (les modèles en usage chez les pisteurs étant, soit des montages métalliques, de type Thomas LARDENNOIS avec des vis prenant appui sur la coque de la chaussure, ou des attelles gonflables) et participe au blocage de toute rotation du segment jambier.

- dans un deuxième temps, elle doit être aisément amovible, (on rejoint ici les critères de déchaussage aisé) mais, de plus :
 - . Le chausson interne doit permettre le glissement du pied, même et surtout en cas de sudation, ce qui n'est pas toujours réalisé (chaussons en mousse de polyéthylène sans Jersey interne).
 - . enfin, ce même pied doit pouvoir être extrait de la chaussure sous déformation importante susceptible d'aggraver une lésion osseuse basse (pouvant exister, malgré sa rareté actuelle, comme nous l'allons voir).

IV. - RAPPEL DES CONSEQUENCES PATHOLOGIQUES LIEES A LA CHAUSSURE

A) D'après des chiffres concernant 3692 cas,

sur 4 ans, de lésions survenues sur une population tout-venant (et non sur des compétiteurs) :

- les lésions des membres inférieurs représentent 80 % des cas, avec seulement 0,45 % au pied et 22,86 % au cou-de-pied (31,47 % à la jambe).

- les fractures intéressaient le pied dans 0,41 %, le cou-de-pied dans 17,74 % et la jambe dans 65 % des cas.

- les entorses se répartissent à la cheville dans 34,90 %, au genou dans 49,75 % des cas.

- les luxations, 1,26 % à la cheville, 3,79 % au genou.

- enfin, contusions et plaies intéressaient, de même, la jambe dans la presque totalité des cas.

En conclusion de ces chiffres, les lésions intéressant la partie du membre inférieur comprise dans la chaussure étaient rares et peu graves. Les types de lésions fracturaires ont, elles, subi une évolution, en faisant presque disparaître la spiroïde basse du tibia pour mettre en évidence la "fracture de la chaussure de ski", plus haute et transversale.

La responsabilité de la chaussure se borne au rôle "d'indicateur du niveau de fracture", et ne doit pas être confondue avec la cause princeps à notre avis dans plus de 90 % des cas (sans qu'il soit possible d'étayer cette assertion par des chiffres) qui est le mauvais fonctionnement de fixations "de sécurité" mal réglées.

- en ce qui concerne le cou-de-pied (22,86 % des lésions), les entorses bénignes ou les fractures malléolaires se rencontrent surtout sur le côté externe, et sont en régression : le meilleur maintien de la cheville semble en être la cause.

Les lésions que l'on pourrait considérer comme propres à la chaussure (rupture du tendon d'Achille par chute en avant : 10 cas, ou la rare luxation des tendons des péroniers latéraux : 1 cas), ne sont, elles aussi, imputables qu'au mauvais fonctionnement des fixations, encore que la chaussure, si elle remplit bien son rôle de tenue du talon, participe à cette rupture du tendon d'Achille.

- pour le pied, la pathologie est rare (0,59 % des lésions du membre inférieur), ce qui prouve que le pied est bien protégé vis-à-vis des traumatismes, directement (de par la coque) et indirectement (le blocage de la cheville déconnectant en quelque sorte le pied du membre inférieur, pour une lésion grave).

B) Au niveau plus spécifique du ski de compétition,

nous voyons réapparaître la fracture de la chaussure (mal nommée, car due au blocage des fixations).

Mais, et c'est là notre propos, il existe toute une pathologie chronique et spécifique du skieur de compétition. Ce sont :

- les exostoses, développées aux dépens :
 - . de la malléole interne,
 - . du scaphoïde et du premier cunéiforme,
 - . du bord interne de la tête du premier métatarsien,
 - . du bord externe de la base du 5^e métatarsien.
- les bursites (rétro calcanéennes surtout),
- enfin, les contusions du tendon d'Achille par micro-traumatismes de celui-ci sur le bord postérieur, trop rigide, du haut de tige.

En conclusion, ces lésions, propres à la chaussure, sont une traduction de conflits "in situ", dus à une mauvaise conformation de la chaussure (ces lésions régressant après changement de chaussures ou pendant la saison d'été), ou plutôt à une mauvaise adaptation de la chaussure au pied.

Les autres lésions sont, pour nous, indissociables du réglage correct des fixations (BERNBECK : "la difficulté de construire une bonne fixation de sécurité provient de l'étroitesse de la marge entre la stabilité nécessaire et l'ouverture salvatrice").

V. - LES POINTS IMPORTANTS

Cette proposition de critères destinés à évaluer le rendement d'une chaussure de ski sera reprise dans les chapitres suivants afin de mettre en évidence les points forts et les lacunes des modèles étudiés.

Certains de ces critères sont universellement observés, certains autres font plus appel à la subjectivité du skieur.

Il nous a semblé commode de les diviser en deux rubriques, l'une concernant la technique, l'autre le confort.

A) Critères d'ordre technique (au nombre de 19)

- 1°) rigidité de la semelle et conformité aux normes IAS,
- 2°) minceur de la semelle,
- 3°) importance du ΔH ,
- 4°) Planéité et grandeur de la surface d'appui des têtes métatarsiennes,
- 5°) support de voûte plantaire,
- 6°) appui (latéral et vertical) offert au gros orteil,
- 7°) appui (latéral et vertical) offert à l'avant pied,
- 8°) appui offert au bord interne du pied (sur toute sa longueur),
- 9°) appui offert au bord externe du pied

- 10°) positionnement et moulage des reliefs malléolaires,
- 11°) appui offert au bord interne du bas de jambe,
- 12°) appui offert au bord externe du bas de jambe,
- 13°) tenue (longitudinale et transversale) du talon,
- 14°) tenue (en adaptation et en serrage) du cou-de-pied,
- 15°) qualités de la surface d'appui avant,
- 16°) qualités de la surface d'appui arrière,
- 17°) angle de flexion équilibrée (AFE sol et AFE semelle),
- 18°) angle de calage latéral de la tige,
- 19°) qualités de protection.

B) Critères intéressant le confort :

- 1°) qualités du serrage (ampleur, précision, fiabilité),
- 2°) largeur offerte à l'avant-pied,
- 3°) largeur générale de la chaussure,
- 4°) ajustement au niveau du cou-de-pied,
- 5°) ajustement au niveau du bas de jambe,
- 6°) place laissée au calcanéum,
- 7°) confort général du chausson,
- 8°) consistance du matériau de base du chausson,
- 9°) épaisseur,
- 10°) surface de matériau fluant (et sa répartition),
- 11°) poids.

ANALYSE CRITIQUE DE LA CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION ACTUELLE (OU "CLASSIQUE")

Après avoir étudié la conception générale de cette chaussure "classique", tant sur le plan matériaux, que sur celui de la forme, nous nous intéresserons aux caractéristiques chiffrées mentionnées précédemment, avant d'analyser de façon plus détaillée les différents modèles utilisés en 1977-1978 en compétition, en les passant au filtre des critères déjà mentionnés, pour conclure en mettant en évidence les points à améliorer.

I. - CONCEPTION GENERALE DE LA CHAUSSURE CLASSIQUE

Constituée d'une coque plastique supportant les efforts dynamiques, enveloppant étroitement un chausson interne responsable du confort, adaptée au pied par un système de serrage multiple, cette chaussure tend à mouler, autant que possible, le pied.

A) La coque

1°) Les matériaux :

- les thermoplastiques, de différents types, aux caractéristique mécaniques connues, sont les seuls composants de la coque. Ils ont pour particularité : la légèreté, la dureté, l'imperméabilité, la possibilité de moulage ainsi qu'une mémoire parfaite de la forme alliée à une certaine élasticité.

- actuellement, certains types de thermoplastiques prennent le dessus : les polyuréthanes et les polyamides.

Suivant leur densité, leurs critères mécaniques propres varient. Le principal critère est le "module d'élasticité à la traction", assimilable à la raideur du matériau : par exemple, le fer a pour module 70 000 en kgf/mm².

Les polyuréthanes (PU) ont un module variant selon la densité entre 5 et 50. Les polyamides sont légèrement plus "raides" (entre 60 et 150).

La masse volumique de ces matériaux est faible : 1,23 g/cm³ pour les PU, 1,04 pour les polyamides (ces derniers pouvant éventuellement participer à la conception d'une chaussure plus légère - NORDICA en Rilsan).

2°) Constitution de la coque :

Elle comprend deux parties solidarisées, le sabot et le colier, et une additionnelle : la semelle interne.

a) le sabot :

- sa forme rappelle celle d'une chaussure basse, plus ou moins surélevée en avant (sous forme de languette) et en arrière (sous forme de "spoiler", nom technique donné à la surface d'appui arrière).
- les reliefs externes aux deux extrémités permettent l'adaptation aux fixations de sécurité.
- la semelle est rectangulaire, à bords parallèles, de largeur semblable à celle du patin du ski.
- la partie antéro supérieure de ce sabot comporte une languette de recouvrement interne qui reçoit les insertions internes des systèmes de serrage.

b) le collier :

En forme de cylindre ouvert en avant, plus haut que large, plus rigide et plus haut en arrière qu'en avant, sa partie antérieure reçoit également par ses deux berges, interne et externe, se recouvrant plus ou moins, les insertions des systèmes de serrage.

Il est articulé sur le sabot par des "axes" latéraux, représentés par des rivets métalliques, plus ou moins symétriquement disposés, permettant ou non un certain jeu antéro postérieur du collier (en flexion extension).

Ce collier est calé en avancée (AFE), et latéralement éversé (angle de calage latéral de la tige).

c) le sabot reçoit sur son plancher interne une semelle interne, pratiquement inexistante en avant, car très mince et plate, se surélevant progressivement vers l'arrière (ΔH) au niveau du talon.

B) Le chausson

1°) Les matériaux :

Constitué d'une chaussette dont l'enveloppe externe, en PVC (polychlorure de vinyle) souple, et l'enveloppe interne, en jersey ou en cuir, renferment entre elles une couche d'épaisseur variable de thermoplastique très souple (dont la dénomination varie avec le fabricant), ce chausson se trouve renforcé au niveau du haut de tige (spoiler) et de la languette antérieure : cuir ou PVC plus épais, ou amalgames plus fermes (à base de liège et de colle, par exemple).

Il comporte quelquefois des zones de matériau moins cohérent, dont la caractéristique est de pouvoir "fluer" (le fluage étant la possibilité d'une couche de plastique de se déformer sous une pression et de répartir ailleurs le volume déformé).

2°) Sa forme

est celle d'une chaussette, assez haute, dont la semelle, rapportée le plus souvent par couture, est plane et très mince.

Cette chaussette est ouverte en avant et une languette antérieure recouvre largement cet intervalle, depuis le dos du pied jusqu'au niveau de la crête tibiale antérieure.

Préformée, cette languette suit la concavité du cou-de-pied. Elle est échancrée au niveau du pli de flexion, afin de ne pas créer de pli lors des mouvements de flexion. Sa partie supérieure élargie et matelassée fait partie intégrante de la surface d'appui avant.

Quant au "spoiler", il est, de même, matelassé et surdimensionné pour accepter l'appui du bas de jambe en arrière.

C) Le système de serrage

Depuis l'invention des "boucles" par Hans MARTIN, le procédé s'est perfectionné et universalisé.

De principe simple (action d'un levier ancré sur la berge externe de la coque, sur une boucle de fil métallique ancrée sur la berge interne), le système de "boucle" a vu son amplitude et

CHAUSSEON INTERNE

"BOUCLE"
DE SERRAGE

ALLURE GÉNÉRALE SCHEMATIQUE
D'UNE CHAUSSURE DE SKI "CLASSIQUE"
DE COMPÉTITION.

COLLIER DE LA COQUE.

"AXE" D'ARTICULATION SABOT-COLLIER.

SABOT DE LA COQUE.

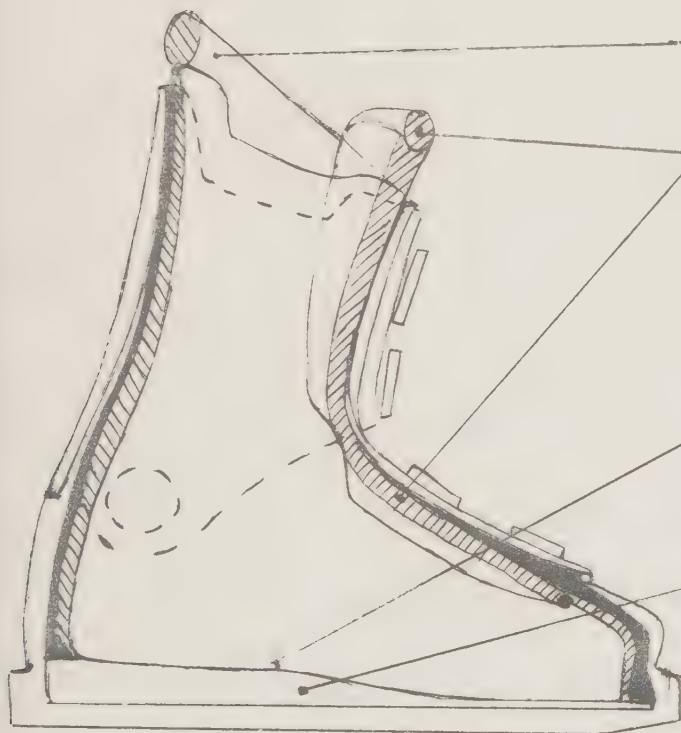


SURFACE D'APPUI ARRIÈRE DU CHAUSSEON
OU "SPOILER".

SURFACE D'APPUI AVANT DU CHAUSSEON
OU "LANGUETTE".

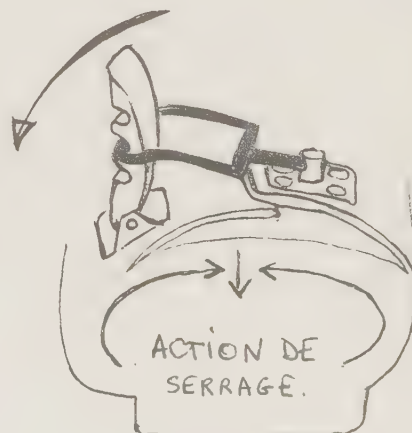
SEMELLE DU CHAUSSEON.

SEMELLE INTERNE DE LA COQUE.



SCHEMA DE FONCTIONNEMENT
D'UNE BOUCLE DE SERRAGE.
(CHAUSSURE VUE DE FACE).

FERMETURE



sa facilité de serrage augmentées, le serrage étant d'autant plus élevé que l'on rapproche les deux languettes interne et externe de la coque.

Ces boucles sont au nombre de 4 ou 5,

- 2 (ou 3) sur le sabot, perpendiculaires à l'axe longitudinal du pied, à fermeture verticale,
- 2 sur le collier, à fermeture horizontale.

II. - CARACTERISTIQUES MECANQUES DES PRINCIPALES CHAUSSURES DE SKI UTILISEES ACTUELLEMENT EN COMPETITION

A) Nous avons retenu, pour notre étude, 26 modèles

datant des années 1976-1977-1978 à comparer avec 4 modèles plus anciens, nés en 1970-1973-1974.

- les critères pour des chaussures de même pointure moyenne (8 ou 42) sont :

- 1) les hauteurs de tige et de chausson en avant et en arrière,
- 2) le ΔH (et l'angle de calage correspondant),
- 3) l'angle de flexion équilibrée (AFE sol et semelle),
- 4) l'angle de calage latéral de la tige,
- 5) la dureté en flexion
. pour 100Ft /Lbs et pour le maximum de force exercée
- 6) de même, la dureté en extension
. pour 50 Ft /Lbs et pour le maximum.
- 7) la flexibilité mesurée en Nm par °
- 8) enfin, le poids moyen par paire.

- les modèles étudiés ont une répartition géographique révélatrice des tendances actuelles :

- 13 modèles de 7 marques italiennes (CABER, DOLOMITE, GARMONT, MUNARI, NORDICA, SAN MARCO, TECNICA),
- 5 modèles de 4 marques autrichiennes (DACHSTEIN, DYNAFIT, KASTINGER, KOFLACH),
- 1 modèle de marque suisse (RAICHLÉ)
- 5 modèles de 2 marques françaises (HESCHUNG, TRAPPEUR),
- 7 modèles de 5 marques américaines, dont une seule évolue en compétition FIS (LANGE : les autres étant HANSON, K2, OLIN, SCOTT).

B) Tableau (p. 71 à 73).

C) Analyse des résultats

1) Les hauteurs moyennes de coque sont :

- en avant : de 22 à 25 cm (20,8 à 28,2)

- en arrière : de 28 à 30 cm (24,5 à 35,5), ce qui semble correspondre à la terminaison des masses musculaires des jumeaux. (Plus bas, le haut de tige ne donnerait pas un appui suffisant, et plus haut, se poseraient des problèmes de moulage des reliefs musculaires).

La faible différence de hauteur entre avant et arrière (1,5 cm : 0 à 2,5) prouve le rôle similaire des surfaces d'appui, et la nécessité d'offrir un contact, sinon une contention, dès le début du mouvement antéro postérieur.

La différence entre coque et chausson (1,5 cm en moyenne) ne représente pratiquement que le matelassage des bords supérieurs, nécessaire pour éviter un conflit entre le bas de jambe et la coque.

2) Le ΔH (surélévation du talon par rapport à l'appui de l'avant pied) semble avoir une valeur moyenne de 20 à 30 mm (extrêmes : 18 - 36), ce qui correspond à un angle d'inclinaison total du pied de 2° à 5° (et à un angle d'inclinaison des 2/3 postérieurs du pied de 5° à 8°).

MARQUE	MODELE ET ANNEE	HAUTEUR AV.		HAUTEUR AR.		Δ H		AFE		ANGLE CA- LAGE LA- TERAL
		Coq.	CHS	Coq.	CHS	Dist.	angle	sol.	sem.	
CABER	GRINTA 76	25	27	28,1	30,6			22		4
CABER	ALFA 76	23,3	28,2	30,6	33	25	7	16	10	4
DACHSTEIN	CONCORD 75	20,8	23,8	30	32,4	26	75	23	17	2
DOLOMITE	SINTESI 75	23,3	27	27	32,4	28	8	99	19	1
DOLOMITE	DINO 77			30	32	28	8	14	10	3,5
DYNAFIT	V. RACER 75	22,7	25,7	27	33	20	5	22	17	0
DYNAFIT	W. CUP 77	27	31	27	32	30	9	20	10	1,5
GARMONT	PRIMA 76	22,6	25,7	27	31	30	9	15	10	2
HANSON	AVANTI 76	27	30,5	33	36	24	6	15	11	0
HANSON	HUMMER 77	28,2	29,4	35,5	35,5	35	11	20	10	0
HANSON	CITATION 78	25,7		25,7		28	8	15	10	0
KASTINGER	STRATO CP 76	24,5		29,4	32	23	5	16	12	4
KOFLACH	COMP. 77	23,3	29,4	30	34,3	24	6	14	12	4
LANGE	XL 1000 78	24,5	29,4	28,2	34,3	25	7	13	9	4
MUNARI	SUPER 76	23,9	28,2	28,8	32,5	22,5	5	14	10	0
NORDICA	ASTRALGT 75	23,9	30,5	28,8	33	20	4	19	14	2
NORDICA	METEOR 76	24,5	29,4	28,2	33,1	32	9,5	19	14	2
NORDICA	TEMPEST 77	27		28		23	5	15	10	
OLIN	T/1 76	27,5	29,5	30	35	30	9	15	10	1
RAICHLE	COMP XXL 76	23,3	29,5	26,3	33,2	30	9	19	14	2
SAN MARCO	TOP RACER 75	22,1	25,8	29,5	32,5	6	1,5	16	12	2
SCOTT	SUPERHOT 76	24,5	24,5	32	32	32	9,5	22	13	3 (1,5)
TECNICA	PRO 75	22		24,5		35	11	18	13	
TECNICA	EXPLOSION 76	23,4	27,1	26,5	32,6	25	7	23	17	4
TRAPPEUR	KILLY GT 76				33	30	9	16	11	2,5
TRAPPEUR	KILLY EX 77	25,8		25,8	33	25	7	18	14	2,5

Tableau 1 : Valeur des critères "anatomiques".

MODELES	DURETE EN FLEXION		DURETE EN EXTENSION		FLEXIBILITE	
	100 Ft/Lbs	MAXI	50 Ft/Lbs	MAXI	(Nm/°)	Poids (paire)
GRINTA					2,22	4,40
ALFA					1,85	4,40
CONCORD					0,76	4,60
SINTESI					1,21	5,00
DINO					2,5	3,70
V. RACER					1,13	4,40
W. CUP	6,0	7,0	5,5	8,0	2,7	4,50
PRIMA					1,56	4,20
AVANTI					1 à 1,5	4,50
HUMMER					2,5 à 3	5,40
CITATION	6,0	7,0	6,0	7,0		3,40
STRATOCF	9,0	9,0	7,0	8,0	2,00	4,50
COMP.					1,3 à 1,8	4,60
XL 1000	6,5	8,5	6,0	8	1,7	4,75
SUPER					1,76	4,50
ASTRALGT					2,54	4,50
METEOR	7,0	8,0	8,0	9,0	1,73	5,95
TEMPEST	7,5	12,0	6,5	13,5		4,10
T 1					1,68	5,65
COMP XXL					2 à 2,9	5,45
TOP RACER	8,5	8,5	10,5	10,5	2,7	4,20
SUPERHOT	8,5 à 11,5	12,5	11,5	11,5	2,1 à 3,1	2,60
PRO	8,0	8,0	8,5	9,0		3,75
EXPLOSION					1 à 1,6	4,40
KILLY GT					2,9 (?)	5,00
KILLY EXP.	7,5	10,5	11,0	11,0	4,3 (?)	4,20

Tableau 2 : Valeurs des critères dynamiques.

MARQUE	MODELE ET ANNEE	HAUTEUR AV.		HAUTEUR AR.		Δ H		AFE		ANGLE LATERAL CALAGE
		Coq.	CHS.	Coq.	CHS.	Dist.	angle	sol.	sem.	
HESCHUNG	SLALOM 70	18,4		24,5		36	12	17	13	4
HESCHUNG	2002 Eq. 74	23,5	27	28	31	30	9	20	14	3
NORDICA	G.P. 74	22,5	30	28	33	30	9	17	13	4
TRAPPEUR	COMP. 73	17,2		23,3		32	10	18	13	

Tableau 3 : Valeurs des critères anatomiques de modèles plus anciens

MODELES	DURETE EN FLEXION		DURETE EN EXTENSION		FLEXIBILITE	
	100 Ft/Lbs	MAXI	50 Ft/Lbs	MAXI	(Nm/°)	Poids (paire)
SLALOM 70	5,5	14,5	8,5	20		4,60
2002 Eq					3,5 (?)	4,00
G.P.					3,6	4,85
COMP	8,0	8,5	5,0	10,5		4,40

Tableau 3 bis : Valeurs des critères dynamiques de modèles plus anciens.

Cette valeur semble être un moyen terme entre l'inefficacité engendrant une fatigue musculaire et la trop grande surélévation conduisant à un appui trop important sous les têtes métatarsiennes (Nous soulignons ici la valeur d'empirisme qu'il faut accorder à ces considérations).

3) Angle de flexion équilibré

"l'AFE semelle" seul intéressant, car le ΔH est cause d'une dispersion trop grande des valeurs de "l'AFE sol", est d'environ 10 à 12° (8 à 21° en valeurs extrêmes), l'AFE sol étant de 14 à 22°.

Cet AFE met donc la tibio astragaliennne en position de flexion dorsale légère, ce qui donne à celle-ci une amplitude de flexion dorsale restreinte (de 10 à 20°). L'amplitude permise par la tige devra donc être inférieure à ces valeurs.

4) Angle de calage latéral de la tige

Valeur moyenne : 2 à 3° vers l'extérieur, ce qui correspond au varus physiologique du tibia (néanmoins, des valeurs de 0 à 4° sont relevées).

5) Dureté en flexion

Les chiffres relevés ne valent que rapportés à la force musculaire du skieur "cobaye", et sont, de ce fait, peu interprétables.

A 100 Ft/Lbs, de 5,5 à 11,5, mais les valeurs moyennes sont toutes similaires (6,0 à 8,0), indiquant un amortissement en début de mouvement comparable pour tous les modèles.

Au maximum d'effort, les chiffres sont plus dispersés, prouvant la variété des formes et des profils de surface d'appui avant sans permettre d'interprétation autre.

6) Dureté en extension

Les valeurs sont plus rapprochées (6 à 8 à 50 Ft/Lbs ; 8,5

à 11,5 au maximum, prouvant le rôle beaucoup plus net de la solidité de l'appui arrière, et la dégressivité rapide de sa souplesse, lors de l'extension de la jambe sur le pied.

7) Flexibilité

De 1,5 à 2,5 Nm/° avec des valeurs extrêmes de 0,76 à 4,3, la flexibilité varie assez largement, prouvant - s'il en était encore besoin - l'aspect protéiforme de la chaussure de ski.

8) Poids

Il se situe entre 3,4 et 5,95 kgs par paire, ce qui représente 1,7 à 3 kgs par chaussure, la moyenne étant de 2 à 2,5 kgs. La chaussure entre donc dans le calcul du poids suspendu à chaque jambe du skieur, pour 40 à 50 % du poids total (toute amélioration de cette valeur serait mathématiquement rentable, mais elle ne serait pas forcément bien accueillie par les compétiteurs, habitués à leur équipement, pas très pesant en fait).

9) En comparaison avec les valeurs relevées sur des modèles plus anciens de 3 ou 4 ans, nous constatons :

a) que la hauteur de coque a été accrue, surtout en avant, (les valeurs relevées sur les "anciennes" chaussures étant inférieures de 3 à 4 cm = 17 à 23 pour 22 à 25 actuellement), alors que le bord supérieur du chausson (languette) restait au même niveau.

L'amplitude de la flexion permise a diminué, en allant de pair avec une meilleure contention du bas de jambe (boucle supérieure en position plus haute).

b) que le ΔH , l'AFE et l'angle de calage latéral n'ont guère varié : l'attitude actuelle des compétiteurs n'a varié que dans le sens d'une recherche du meilleur glissement, et d'une conduite équilibrée du ski en courbe, ce qui ne nécessitait pas de changements au niveau de la position du segment jambier (à l'inverse de ce qui se passait pour la contention du bas de jambe).

c) dureté et flexibilité ne peuvent être comparées que subjectivement, les chiffres n'étant pas "statistiquement représentatifs". Il est néanmoins possible de constater qu'une meilleure connaissance de

la technologie en matière de thermoplastiques a permis d'adapter les structures de la tige aux desiderata actuels.

d) le poids, par contre, n'a guère varié depuis quelques années : l'augmentation relative du poids due à la surélévation des tiges a été sans doute compensée par l'emploi de matériaux à masse volumique plus faible.

EN CONCLUSION DE CETTE ANALYSE, nous voyons apparaître une meilleure maîtrise des matériaux engendrant une adaptation plus correcte aux contraintes dues à la compétition. Ce fait est à l'origine du nivellement relatif des valeurs dynamiques étudiées ci-dessus.

A l'inverse, les valeurs anatomiques semblent (surtout en ce qui concerne le ΔH et l'AFE), encore en flottement. Ceci peut s'expliquer par l'empirisme qui règne encore dans la plupart des firmes élaborant des chaussures de ski, empirisme qui fait que chacun conserve, peu ou prou, "ses" propres valeurs.

III.- ANALYSE PLUS DETAILLEE DES DIFFERENTS MODELES UTILISES EN COMPETITION

Le plan d'étude sera le même, à peu de choses près, que précédemment : coque, système de serrage, chausson, étude de conceptions quelque peu différentes.

A) La coque

1) Le sabot

a) vue extérieurement, elle semble s'arrêter là où commence le collier.

En fait, souvent, les deux languettes supérieures deviennent antérieures vers le haut, augmentant ainsi la résistance de la surface d'appui avant (et l'étanchéisation, par recouvrement plus important de ces deux languettes).

L'inconvénient majeur en est la création de plis, lors de la flexion, pas toujours absorbés par la languette du chausson, pouvant être douloureux par surpression sur le cou-de-pied.

De la même façon, la partie postérieure du sabot peut se continuer vers le haut, créant ainsi un "spoiler", de dureté d'autant plus importante qu'il est en continuité avec les languettes antérieures, (l'acquisition d'une flexibilité plus importante est possible en coupant verticalement plus ou moins bas dans les flancs : (NORDICA, METEOR, MUNARI MIURA, DOLOMITE BORA, TRAPPEUR KILLY EXPERT).

- Quelque fois même, ce spoiler postérieur sert seul d'appui arrière (HESCHUNG HX 280 - MUNARI RALLY).

- Le recouvrement en avant des deux languettes supérieures du sabot peut se faire par des systèmes variés (coussinet de plastique souple, petite languette interne), contribuant (ou étant censés contribuer) à l'étanchéisation de la coque.

b) Ses reliefs externes se voient fréquemment :

- articulation médiane, postérieure, du collier (TRAPPEUR KILLY SLALOM, MUNARI RALLY), peu employée en compétition car trop souple,

- blocage fin d'extension du jeu du collier sur un relief (NORDICA METEOR, SAN MARCO LEO LACROIX) en plus du décrochement déjà existant sur toutes les chaussures,

- sur les languettes antérieures du sabot, reliefs permettant le blocage en fin de course du jeu du collier, soit inférieurs (GARMONT GARA), soit supérieurs (DYNAFIT WORLD CUP).

c) Au niveau de la semelle

Selon la tendance qui veut - à juste titre - que le bord interne d'une chaussure ait le moins possible de débord au niveau de l'avant-pied (angulation rendue plus importante et meilleur accrochage des carres), certains constructeurs en viennent à des coques presque pyramidales (DYNAFIT WORLD CUP), le bord interne de la chaussure étant presque plat.

Or, la semelle ne devant pas dépasser la largeur du patin du ski (60 à 70 mm), le débord externe devient donc plus important : l'axe du ski correspond à l'axe du pied, concrétisé par le 2^{ème} métatarsien.

Le 1^{er} rayon a donc une situation privilégiée, qui lui permet, lors des prises de carres - presque toujours internes - de mieux contrôler la conduite équilibrée du ski.

Les normes DIN 7880 citées sont la cause des reliefs standardisés antérieurs et postérieurs (munis ou non de zones de glissement à l'avant).

De plus, les impératifs de "sécurité" (non accumulation de neige sous la semelle, effet anti dérapant souhaitable), nécessitent l'inclusion dans cette semelle externe de matériaux différents ou de reliefs plus accrocheurs. Un relief médian est de plus en plus fréquent, permettant le bon fonctionnement (escamotage au chaussage), d'un éventuel frein - ski, qui commence à être utilisé en compétition.

d) Les reliefs internes doivent assurer, en tant que support de la semelle interne, une assise stable et solide. De plus, la pièce mécanique réalisée par le plancher de la coque doit être rigide dans tous les plans. Malgré leurs formes souvent fines et échancrées, les semelles répondent à cet impératif, grâce à des systèmes variés :

- armature en croisillons en relief
- lame de bois (HESCHUNG), ou de métal (GARMONT) longitudinale.

Le deuxième impératif à réaliser est celui de la thermo-isolation : l'apport de la semelle interne constitue déjà, en lui-même, une amélioration. Mais cette amélioration se fait également par création d'un vide d'air entre plancher et semelle interne, maintenue par des reliefs du plancher.

2) La semelle interne

Sa forme comprend deux grands types :

- les semelles complètes, inclinées (MUNARI, CABER), ou ne comportant qu'un appui talonnier incliné (DOLOMITE, HESCHUNG), sans re-

lief au niveau de la voûte plantaire, le tiers moyen étant quasiment plat.

- les semelles comportant un support de voûte plantaire, soit intégré (NORDICA, TECNICA, TRAPPEUR), soit amovible au niveau du tiers moyen interne. Malheureusement, cette convexité n'est jamais très prononcée (10 mm au plus), et ces types de semelle sont employés avec des chaussons à semelle rapportée, d'épaisseur faible. Leur utilité semble donc aléatoire.

- Le matériau utilisé doit être "isolant", souvent un thermoplastique type polyéthylène moyenne densité, relativement dur.

- L'adaptation au pied de cette semelle est possible, sur certains modèles (HENKE ASTROJET, ajustage du calage de cette semelle dans les deux plans par action de vis verticales noyées dans la semelle de la coque.)

- Un amortissement sous l'appui talonnier existe également, destiné à absorber les chocs violents : atterrissage après saut en descente, irrégularités du terrain à type de "cuvettes" en slalom. Ces amortisseurs, faits de ressorts (NORDICA), ou de blocs de caoutchouc (MUNARI), ou même d'un relief de la semelle (KOFLACH) ne semblent pas d'une utilité extrême.

3) Le collier

Sa conformation est fonction de la position du ou des axes de solidarisation à la coque :

+ les "axes"

- . leurs points d'ancrage, rarement punctiformes, souvent larges et de forme fréquemment ronde, sont grossièrement symétriques.
Il peut en exister qu'un, médian, postérieur le plus souvent, bas situé (TRAPPEUR KILLY SLALOM, NORDICA METEOR, KOFLACH Comp.)
- . Leur position varie énormément (prouvant ainsi que la tige ne répond pas aux mouvements du segment jambier suivant les mêmes lois mécaniques) Celles auxquelles obéit la tige de la chaussure sont fonction de la forme du collier, et du siège des boucles de serrage.

- . soit au niveau des pointes de malléoles, le collier étant étroitement imbriqué dans un relief en creux du sabot (LANGE XL 1000, CABER ALFA, DYNAFIT WORLD CUP),
- . soit très bas et très postérieur (CABER SQUADRA CORSE TECNICA)
- . soit au niveau de la semelle (MUNARI, SAN MARCO).

L'utilité réelle de ces "axes" reste à expliquer :

- ils jouent un rôle d'union mécanique entre deux structures distinctes, sabot et collier,

- grâce aux reliefs voisins, ils contribuent au maintien de l'attitude en flexion, et, surtout, à la rigidification latérale de la chaussure,

- ils servent également d'axe de rotation pour les mouvements vers l'avant du collier. En arrière, le blocage est réalisé très vite par imbriquement des reliefs postérieurs du sabot (en creux) et du collier (en plein). En avant, le blocage se fait grâce à :

- . l'écrasement des structures de la chaussure au niveau du cou-de-pied (coque, puis languette, avant d'appuyer sur le pied),
- . la diminution d'amplitude de flexion occasionnée par ces structures qui augmentent l'épaisseur en avant du bas de jambe,
- . et aussi grâce au rivetage plus ou moins conséquent en arrière de cet axe, soit d'origine (NORDICA GP, SAN MARCO TOP RACER, LANGE), soit artisanal, réalisé par les compétiteurs jugeant la souplesse en flexion de leurs chaussures trop importante.

La latitude de mouvements reconstruite sera bien sûr plus importante pour les chaussures utilisées par les descendeurs, uniquement en flexion.

La fourchette de jeu permis n'est pas déterminable de façon stricte (variations individuelles importantes), mais on peut estimer, qu'en moyenne, l'AFE sol étant de 15°, le jeu en extension sera de 15° (donc jusqu'à 0° au maximum), et le jeu en flexion d'environ 15° également, soit jusqu'à 30° (angles mesurés à partir du sol, et non de l'inclinaison

réelle du pied, moins importante de 5 à 10°). Il existe donc réellement une limitation du jeu de la tibio astragalienne en flexion dorsale.

Ce jeu n'est évidemment pas le même au niveau des axes, car les déformations du haut de tige liées à la déformabilité du chausson et à la hauteur des brides du collier majorent ce jeu. On peut le chiffrer (GARMONT) entre 5 et 10°.

+ le collier proprement dit

Sa forme exacte varie en fonction du siège des axes :

- en arrière de ceux-ci, le bord inférieur peut continuer à descendre (CABER SQUADRA CORSE), ou être horizontal (DYNAFIT WORLD CUP), ou avoir une direction ascendante, imbriquée dans le sabot (LANGE, RAICHLE),

- en avant, le bord inférieur rejoint la courbure du cou-de-pied, en laissant entre le sabot et lui un certain jeu vertical, nécessaire pour éviter l'écrasement du cou-de-pied en flexion.

Le profil du "spoiler" peut être rectiligne et agressif, le chausson devant absorber l'irrégularité (TECHNICA FORMULA, KOFLACH Comp., TRAPPEUR KILLY), ou, à l'inverse, le plus souvent, le profil se veut anatomique, épousant peu ou prou le galbe du mollet (LANGE, DYNAFIT).

Le profil postérieur du collier et du sabot est souvent le siège d'une incurvation inverse, désir de "moulage" du tendon d'Achille, qui ne se ressent guère au niveau du pied.

Les faces latérales (conjointement avec celles du sabot) sont, au niveau des malléoles externe et interne, le siège d'un relief circulaire, plus ou moins accusé (presque inexistant sur les MUNARI, DYNAFIT, TRAPPEUR, très prononcé sur les LANGE, NORDICA, HESCHUNG, HENKE), destiné à "mouler" les malléoles. Hélas, dans la plupart des cas, ces reliefs sont placés symétriquement, et leur intérêt ne se fait guère sentir (hormis dans les coques à talon très fin).

La partie antérieure du collier reçoit les systèmes de serrage dont nous reparlerons. Elle est en forme de brides horizontales de direction externe, plus ou moins larges, longues et épaisses, constituant, pour la bride supérieure (LANGE) ou pour la languette externe plus développée (DYNAFIT, HESCHUNG), un dispositif "pare-neige".

Différents dispositifs de réglage prennent place sur le collier:

règlage de la hauteur de la tige, de la flexibilité, de l'AFE (les trois paramètres étant souvent liés).

Pour l'AFE :

- . certains constructeurs (KOFLACH Comp. SL) intercalent des cales de hauteur différente entre bords postérieurs du sabot et du collier,

- . certains autres (DYNAFIT) proposent un collier moins haut, moins rigide et plus redressé, destiné à la descente,

- . enfin d'autres (NORDICA) intercalent un "spoiler" additionnel entre chausson et collier.

Un système plus récent consiste en l'adjonction d'un clip postérieur, coulissant sur une glissière verticale, au bord postéro-supérieur du collier, et dont le réglage donne un AFE et une flexibilité plus ou moins accusée (DYNAFIT, MUNARI).

Un autre système fait varier l'AFE par l'intermédiaire d'une mécanique simple (tige filetée et écrou), en position postérieure (RAICHLE, TRAPPEUR Comp.) ou par boucle postérieure (DALEBOOT).

Le calage latéral de la tige peut être modifié, grâce à des systèmes de même type, remplaçant un ou les deux axes latéraux (SAN MARCO)

Un exemple encore plus sophistiqué permet le réglage concomitant de l'AFE et de l'angle de calage latéral (HESCHUNG 2002 Pro, encore utilisée il y a quelques temps en Equipe de France) : la zone de l'axe sur le collier et le sabot, est rectangulaire, horizontale, recouverte d'aspérités. Deux vis et deux écrous de chaque côté permettent un réglage parfait de ces deux paramètres.

La variété et le nombre de ces systèmes prouvent la différence d'approche des problèmes posés par les "calages". Il va de soi que les compétiteurs, une fois leurs calages définis, n'en changent plus.

B) Les systèmes de serrage

Au système simple de "boucle", de nombreuses variantes et améliorations ont été apportées, tant sur le plan fonction que sur celui du placement sur le pied.

1) Fonctions de la boucle

Deux systèmes différents selon l'ancrage de la boucle :

- ancrage ponctuel de celle-ci, rigide (KOFLACH, LANGE)
- ancrage par relief large d'une boucle souple (DOLOMITE, TRAPPEUR, NORDICA, TECNICA).

L'avantage du 2^{ème} système sur le 1^{er} est le suivant : plus la base d'implantation est large, plus l'action de levier et de serrage du système est répartie sur une surface plus importante de la languette (d'où amélioration des phénomènes douloureux rencontrés sur les anciennes chaussures).

Le problème posé par ce système est le suivant : il constitue un serrage circonférentiel, que ce soit sur l'avant-pied ou le bas de jambe, et tend à comprimer (au niveau de l'avant-pied) l'arche antérieure latéralement et verticalement. Cela explique le serrage habituellement faible de la boucle la plus antérieure.

Un autre système (HESCHUNG, Brevet MOLITOR) utilisait des cables d'acier prenant appui en va-et-vient sur les deux languettes interne et externe en passant sur un levier de serrage.

Le réglage de ces systèmes comporte une marge assez grande, grâce à différents dispositifs :

- plusieurs "crans" sur le levier de fermeture,
- réglage "micrométrique" par placement de la boucle sur une tige fileté (LANGE, DYNAFIT)
- possibilité de faire varier la longueur du bras de levier en faisant varier la position du levier (NORDICA, CABER)
- le système MOLITOR, déjà cité, permettait un réglage très précis par l'intermédiaire d'une petite crémaillère sur laquelle coulissait le levier.

Enfin, ces leviers doivent être protégés des chocs (et des possibilités d'ouverture intempestive, notamment en slalom), soit en

les plaçant sur la partie supérieure de la coque (HESCHUNG, DYNAFIT), soit en les protégeant par un relief de celle-ci.

2) Placement en action sur le pied

Jusqu'en 1972, la règle était de placer trois boucles sur le sabot, et 2 sur le collier.

Actuellement, la tendance est de ne placer que deux boucles sur le sabot, diminuant le nombre total des boucles.

Mais il est curieux de constater que les constructeurs, dans leur immense majorité, n'ont jamais considéré que l'un des aspects principaux de l'efficacité en ski de haut niveau, est de garder tout le pied, et surtout le talon, en contact et même en appui sur le ski. Hormis HENKE (ASTROJET) et KOFLACH (300 RACING), tous les constructeurs "encadrent" le cou-de-pied avec des boucles, sans jamais en placer une en diagonale sur le cou-de-pied...

Le placement actuel est donc :

sur le sabot :

- . une 1 ère boucle antérieure au niveau de la tête des métatarsiens, de direction verticale,
- . une 2 ème boucle au niveau de la première rangée du tarse, légèrement plus oblique en bas et en arrière.

sur le collier :

- . une 3 ème boucle sus malléolaire externe, oblique en bas et en arrière,
- . une 4 ème boucle au niveau du haut de tige, horizontale, ou même oblique en haut en arrière.

Le serrage se fait donc :

- en comprimant dans tous les sens l'arche antérieure (d'où douleurs fréquentes ou non utilisation de la première boucle),

- la 2^{ème} boucle nécessite, conjointement avec la 3^{ème}, un serrage très fort, pour bloquer le talon dans la chaussure. Cette 3^{ème} boucle, peut, par l'intermédiaire des éléments de la coque et du chausson, comprimer le paquet vasculo nerveux tibial postérieur, ou le jeu de la tibio péronière inférieure.

- la 4^{ème} boucle serre circonférentiellement le bas de jambe, ce qui peut être considéré comme un dispositif expérimental destiné à créer stase veineuse et oedème.

Hormis les descendeurs, tous les compétiteurs serrent cette boucle de façon importante (Même les descendeurs peuvent le faire, si elle est placée plus bas : DYNAFIT WORLD CUP).

En résumé, tout est tenu et comprimé dans la chaussure, sauf le talon. La perte de contact talon - chaussure peut se produire avec d'autant plus de facilité que l'on se trouve en position de recul, ayant pour corollaire une diminution immédiate du rendement du skieur.

C) Le chausson

Il représente - ou doit représenter - la pantoufle dans l'étau décrit jusqu'ici.

1) la semelle : rapportée et mince, dans un chausson cousu (LANGE, TRAPPEUR, TECHNICA, NORDICA, HESCHUNG), ou intégrée dans un chausson moulé (DYNAFIT), elle participe à la thermo isolation, mais surtout, dans certains cas, à la constitution d'un support de voûte plantaire. L'épaisseur plus grande de la semelle dans un chausson moulé peut altérer dans une faible mesure les informations recueillies par la plante du pied. Mais elle est un élément déterminant du confort sous la voûte plantaire. Certains (DYNAFIT) ont même développé un chausson dans lequel le support de voûte, intégré, supporte plus le bord interne du pied que sa face plantaire, ce qui, semble-t-il, constitue un meilleur appui.

2) le spoiler : jouant en arrière le même rôle que la languette en avant, il a sa rigidité qui doit être dégressive, pour éviter tout traumatisme du bas de jambe.

De même, latéralement, il doit être matelassé pour contrôler les appuis au niveau du bord interne du haut de tige.

Dans la plupart des cas, ses dimensions sont importantes, et il joue bien son rôle.

3) Le moulage des malléoles et le calage de l'arrière-pied.

Il est souvent réalisé conjointement par des reliefs du chausson, croissants sous et rétro malléolaires, afin de caler latéralement le talon.

En fait, il est difficile de trouver un moyen terme :

- le matériau est souple : il est non agressif, mais peu utile,
- il est ferme : il est utile, mais traumatisant.

Mais ce moulage est nécessaire pour apporter une sensation de contact, sinon d'appui latéral lors des prises de carres.

Il peut être réalisé indirectement, par pincement latéral du tendon d'Achille, et blocage du calcaneum par ses bords supérieurs (TRAPPEUR, LANGE)

4) La languette, souvent partie indépendante, rapportée sur le chausson (cousue, collée ou soudée par son bord antérieur), elle comporte trois éléments :

- la région du pli de flexion, souvent préformée, mais échan-crée et amincie au niveau du cou-de-pied,
- la région dorsale de l'avant-pied, elle matelasse et diminue l'appui causé par le serrage,
- enfin, elle représente la partie confortable de la surface d'appui avant ; épaissie, large, ferme, elle doit être assez rigide pour ne pas "casser" sur les reliefs des brides.

Les périostoses antérieures du tibia sont sans doute dues à des languettes mal étudiées, et surtout trop molles.

5) Adaptation du chausson à l'individu

Certains additifs sont proposés : poches de matériaux fluants (KOFLACH), ou plaques à insérer entre coque et chausson aux endroits où celui-ci manque d'épaisseur, afin de combler le vide existant et de mieux maintenir le pied. Ceci est surtout réalisé sur les bords interne et externe du pied, et peut contre-balancer partiellement une absence de support de voûte plantaire.

Certains chaussons peuvent être fermés en avant pour éviter tout glissement latéral (fréquent) de la languette, et pour ajouter aux qualités de la surface d'appui avant : soit par laçage (NORDICA), ou par Velcro (NORDICA, KOFLACH)

D) Conceptions nouvelles ou différentes de certains aspects de la chaussure de ski de compétition.

Elles concernent : les matériaux utilisés, les formes, les systèmes de serrage et de réglage des divers paramètres.

1) Les matériaux

. le cuir est de nouveau utilisé dans la conception du collier, pour les chaussures destinées à la descente (HESCHUNG 2002, KOFLACH Comp. D). L'amortissement réalisé est de meilleure qualité, les informations parasites sont mieux étouffées. Les caractéristiques mécaniques sont de même plus favorables à la descente : même rigidité en extension que les thermoplastiques, mais meilleure flexibilité.

. le Rilsan, nouveau polyamide, plus léger (1,04 de masse volumique, au lieu de 1,23 pour les P.U.) et plus solide, a permis (NORDICA) de mettre au point de nouvelles conceptions de coques, utilisant l'élasticité supérieure de ce matériau.

2) Les formes

. Le chaussage peut se faire par l'arrière (HANSON, MUNARI, SAN MARCO), la surface d'appui arrière basculant et revenant, fermée, emprisonner le bas de jambe sur une surface d'appui avant déjà en forme.

Le serrage se fait par deux boucles postérieures, et le calage du cou-de-pied est réalisé par un coussin de matériau fluant qui le recouvre entre chausson et coque.

Les surfaces d'appui avant peuvent comporter un certain réglage :

- . glissement contrôlé (MUNARI) : coulissage de la surface d'appui avant dans l'axe longitudinal sous la pression du bas de jambe, plus ou moins freiné. L'anatomie n'est guère respectée, et ces modèles n'ont eu que peu d'audience en compétition,

- . flexibilité réglable (HANSON) : la coque, qui constitue la surface d'appui avant peut s'ouvrir plus ou moins selon la position d'un cavalier en position médiane plus ou moins haute.

Ce procédé semble satisfaisant (utilisation en circuits Pro).

La languette flottante, véritable troisième pièce de la coque, ancrée en avant, recouvre la partie antérieure de celle-ci, supporte et répartit les efforts de serrage, et absorbe en partie les déformations liées à la flexion. Cet artifice commence à être utilisé en compétition avec de bons résultats (CABER 450, NORDICA).

3) Les systèmes de serrage

- De l'avant-pied : certains (OLIN - KOFLACH) utilisent une plaque supérieure qui descend verticalement s'appliquer sur le dos du pied grâce à l'action de vis, pour "tasser" l'avant-pied sur la semelle. Ce procédé est aussi peu satisfaisant que le serrage circonférentiel, car il ne contrôle pas le plan latéral, et engendre des douleurs.

- Du talon : le serrage des faces latérales du talon peut se faire par l'action de vis agissant isolément (DOLOMITÉ BORA) ou par l'intermédiaire d'un relief moulé entre coque et chausson (NORDICA). L'utilité de ce système est certaine, mais sa réalisation pratique demande un moulage et un placement parfaits du système, ce qui n'est encore guère réalisé, la compression se faisant en fait sur les gouttières rétro malléolaires.

Un autre système proposé (HESCHUNG AIRFLO), était d'intercaler un coussinet en "L" sous les malléoles et de le gonfler plus ou moins. Les critiques précédentes sont encore valables ici à un moindre degré.

- Du bas de jambe. Le serrage peut être :

- . circonférentiel vrai (KOFLACH) par action d'une boucle dont le cable fait presque le tour du haut de tige,
- . très large (système à cables HESCHUNG),
- . ou même postérieur (HANSON), ou comporter une languette postérieure (sur coque classique) serrable grâce à une boucle (HESCHUNG SAPPORO).

Ces systèmes n'évitent en fait pas l'écueil du serrage circonférentiel générateur de stase veineuse et d'engourdissement du pied (aussi, tous les coureurs, une fois arrivés en bas, débouclent-ils leurs chaussures).

4) Les systèmes de réglage

Comportent certains "gadgets" d'utilité variable, dont il serait trop long de faire le tour, qu'ils soient destinés à parfaire l'adaptation au skieur de la flexibilité ou des angles de calages.

E) Un cas particulier, prouvant la recherche constante en matière de chaussure de ski : LA DYNAFIT D x 2.

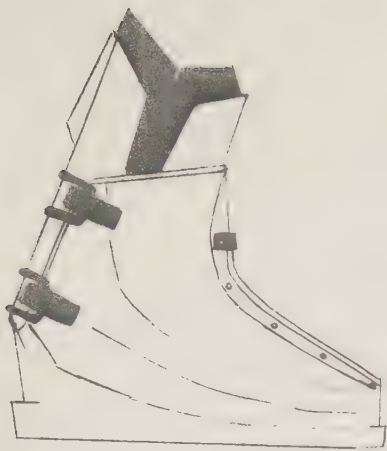
La coque a été pensée comme "minimale" autour d'un chausson complètement fermé.

Elle comporte :

- une semelle donnant insertion, en avant, à une languette supérieure (serrant le dos du pied par l'intermédiaire d'une boucle transversale), et, en arrière, à deux faces latérales porteuses d'un pivot torique à grande liberté de mouvement, sur lequel s'articule :

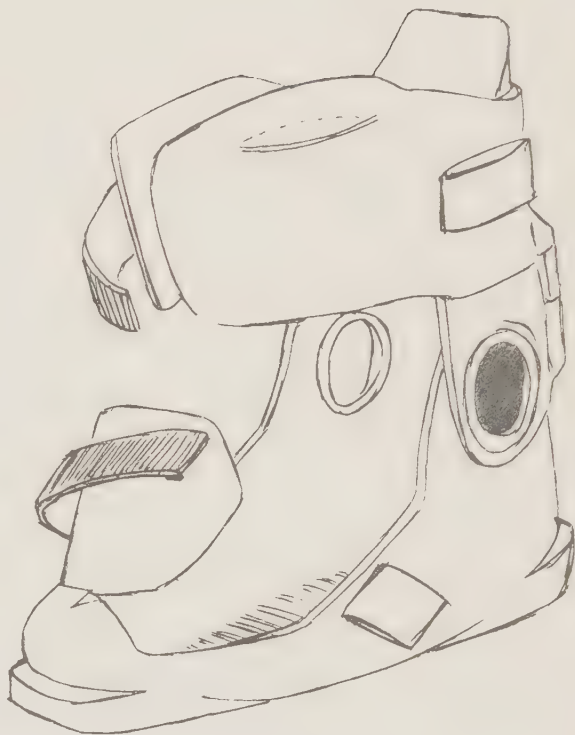
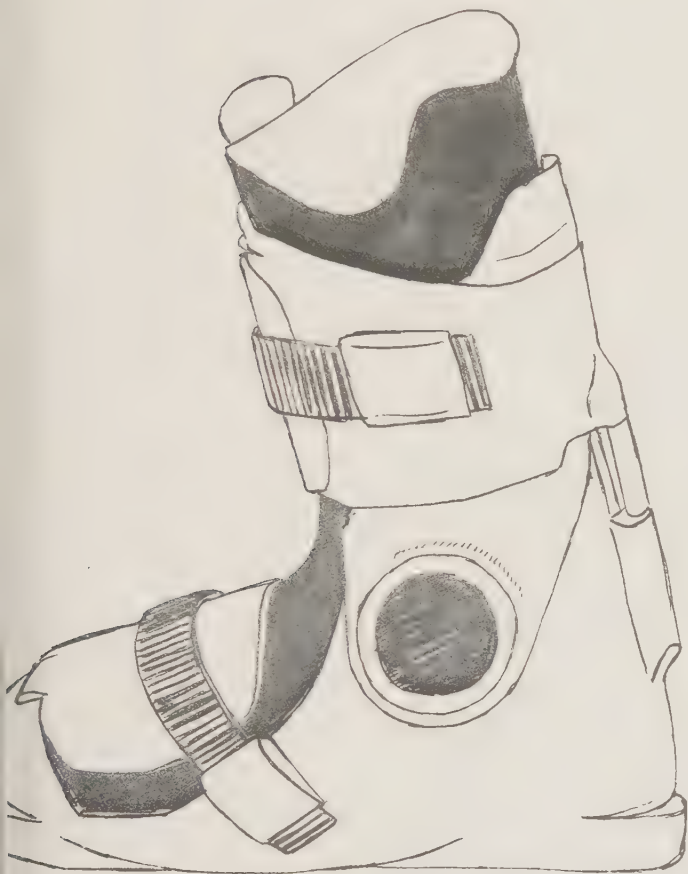
- un collier classique à 1 boucle de serrage horizontale. La flexibilité et l'AFE sont réglés par un système de ressort unissant sabot et collier en arrière.

Ce prototype est intéressant, car il a le mérite d'essayer de positionner correctement l'axe de flexion - extension, en tenant compte des variations individuelles, et de laisser au chausson seul la contention de zones peu compressibles.



CONCEPTIONS NOUVELLES OU
DIFFÉRENTES DE LA CHAUSSURE
DE SKI DE COMPÉTITION.

CHAUSSURE À CHAUSSAGE ARRIÈRE (FERMÉE PAR 2 BOUCLES POSTÉRIEURES)



PROTOTYPE DE CHAUSSURE À COQUE "MINIMALE" ET CHAUSSON FERMÉ.

Il pêche bien sûr par certains points :

- le talon n'est guère maintenu,
- le serrage de l'avant-pied répond au système classique utilisant la compression du pied sur la semelle,
- le serrage du haut de tige est de même, classique et circonférentiel.

IV. - ANALYSE DES SOLUTIONS APPORTEES PAR LA CHAUSSURE CLASSIQUE AUX PROBLEMES POSES PAR LES "POINTS IMPORTANTS"

Nous reprenons ces points importants, en mentionnant successivement :

- . leur valeur respective en compétition
- . et les progrès qui restent à réaliser

A) Eléments techniques

1) Rigidité de la semelle, et conformité IAS

- très grosse importance dans tous les plans
- peu de progrès à réaliser, hormis s'il y a une recherche abusive de la légèreté de la chaussure.

2) Minceur de la semelle

- importante quant à la précision de guidage des skis
- les chaussures semblent actuellement avoir acquis la bonne épaisseur

3) Le ΔH ,

Nous en avons déjà commenté l'importance et les valeurs, déterminées, hélas (!), de façon empirique.

4) Surfaces d'appui des têtes métatarsiennes :

Peu de progrès à réaliser, tous les constructeurs semblant avoir pris conscience de l'importance de ce critère.

5) Support de voûte plantaire :

Il doit exister pour deux raisons :

- la déformation en charge
- la nécessité d'une perception de contact sur toute la longueur du bord interne du pied.

Son application est, hélas, mauvaise ! Soit par ignorance du problème, soit par fluctuations trop importantes des valeurs individuelles.

6) Appui offert au gros orteil :

- Il est nécessaire, pour les mêmes raisons qu'en 5
- Il n'est pas toujours correct, du fait d'un moulage différent des coques suivant les nationalités (larges en France et en Italie, étroites en Amérique, par exemple)

7) Appui offert à l'avant-pied :

- Beaucoup plus important latéralement que verticalement (tenue du ski en schuss, grandes courbes, et déclenchement de virages de slalom spécial).
- Là encore, beaucoup à faire, l'adaptation de la coque aux déformations en charge n'étant presque jamais réalisée.

8) Appui offert au bord interne du pied :

- primordial et fondamental, que ce soit pour le dosage des prises de carre, ou l'équilibre du coupé du ski,
- assez mal réalisé au niveau des saillies osseuses, soit par suppression due à la coque, soit par matelassage trop important de ces régions.

9) Appui offert au bord externe du pied :

- Important, du fait des déformations en charge et à la fatigue,
- même remarque qu'en 7.

10) Positionnement et moulage des reliefs malléolaires :

- ils conditionnent le calage du talon, et contribuent à augmenter l'appui sur les bords interne et externe du pied,
- il reste beaucoup à faire, tant sur le plan du positionnement (malléoles mal situées sur la coque), que du moulage (dur et douloureux, ou mou et inefficace).

11) Appui offert au bord interne du bas de jambe :

- Primordial et fondamental
- Bien rendu dans la plupart des cas

12) Appui offert au bord externe du bas de jambe :

- Moins important, mais la nécessité de la contention du bas de jambe en rend le confort primordial,
- également bien réalisé.

13) Tenue du talon

- C'est le 1er critère en importance
- Elle est mal réalisée, car indirectement assurée dans le sens longitudinal, et mal assurée transversalement (trop ou pas assez). De gros progrès sont donc à faire sur ce point.

14) Tenue du cou-de-pied

- Egalement extrêmement important, c'est par lui que l'on cale le talon,
- Réalisée correctement de façon statique, mais elle pêche dès que l'on mobilise le segment jambier, la plupart du temps.

15) Qualités de la surface d'appui avant

- Très importante, pour un freinage et un arrêt progressif des mouvements de flexion.
- Assez bien réalisée, mais il existe une dispersion des caractéristiques mécaniques qui font que tout le monde ne trouve pas "chaussure à son pied".

16) Qualités de la surface d'appui arrière

- Mêmes remarques qu'en 15.
- Très peu de progrès à faire sur ce point.

17) AFE et 18) Angle de calage latéral : ont déjà été évoqués.

19) Qualités de protection

- Elles sont primordiales, tant en thermoisolement, imperméabilisation, qu'en protection contre les chocs.
- Cet aspect de la chaussure a été un des mieux étudiés jusqu'à présent.

B) Eléments intéressant le confort

1) Qualités de serrage

- La valeur en compétition du serrage est univoque : trouver le bon serrage et le garder en course,
- Ces qualités sont respectées, grâce - entre autres - à la grande variété morphologique des systèmes.

2) Largeur offerte à l'avant-pied

- Elle est importante, mais les orteils ne doivent en aucun cas être l'objet de compressions.
- Beaucoup de progrès à faire, du fait de la définition "standard" de la pointure.

3) Largeur générale de la chaussure

- C'est le point important, à condition qu'elle soit parfaitement adaptée au pied du skieur.
- Même remarque qu'en 2.

4) Ajustement au niveau du cou-de-pied

- indispensable
- La superposition de différents éléments rend cet ajustement confortable, mais souvent mal adapté.

5) Ajustement au niveau du haut de tige

- Indispensable et très important pour la mise en confiance du skieur lorsqu'il recherche un appui.
- Beaucoup à faire, au niveau de l'appui immédiat : il existe un "temps mort" à l'acquisition de l'appui préjudiciable à la technique, et ce, malgré la notion d'élasticité de la tige.

6) Place laissée au calcanéum

- cette place doit être juste suffisante
- elle est souvent trop importante, créatrice de mouvements parasites du calcanéum.

7) Confort général du chausson

- Il ne doit exister aucun point dur
- Peu de progrès à faire pour l'enveloppement du pied, beaucoup en ce qui concerne un bon dosage confort - technicité.

8) Consistance du matériau de base du chausson

- Ferme de préférence, pour affiner le plus possible, sans les dénaturer, les perceptions au niveau du pied.

9) Epaisseur de ce matériau

- Le plus mince possible, pour les mêmes raisons qu'en 8
- Beaucoup de progrès à faire, les constructeurs "comblant les vides" entre coque et chausson en augmentant l'épaisseur de ce dernier.

10) Surface de matériau fluant

- La plus faible possible, pour les mêmes raisons qu'en 8

11) Le poids à déjà été envisagé

EN CONCLUSION, la conception classique de la chaussure de ski de compétition se heurte donc à différents problèmes plus ou moins bien résolus.

Les progrès à réaliser concernant certains points fondamentaux nous ont fait envisager une autre conception de la chaussure de ski de compétition, qui, si elle résoudra certains des problèmes actuels, n'en représentera, bien sûr, pas pour autant, la panacée !

NOS PROPOSITIONS DE FABRICATION : LA SALOMON S x90

Introduction

Nous rapportons ici notre expérience personnelle de la conception d'une chaussure de ski, expérience qui a consisté à étudier, et à aider un tout soit peu (du moins, nous l'espérons), la recherche en ce qui concerne une chaussure toute nouvelle destinée plus spécifiquement à la compétition.

A notre sens, l'idée, classique, d'un pied enveloppé, par l'intermédiaire d'un chausson plus ou moins rembourré, dans une coque déformable, n'est pas satisfaisante, au moins intellectuellement. De plus, les systèmes de serrage, ou plutôt leurs emplacements sur une chaussure de type "classique" (chapitre V) ne correspondent qu'indirectement aux desiderata techniques du ski de compétition, à savoir (chapitre IV) : enveloppement d'un pied :

- dont les plans de liberté latéraux ont été supprimés,
- qui reste en contact permanent avec le ski,
- et qui sert de support et d'axe aux seuls mouvements permis, bien que limités, à savoir la flexion extension du segment jambier sur le pied, et partant, sur le ski.

Le plan comprend :

- l'étude des idées directrices de la conception de cette chaussure,
- l'étude de la réalisation pratique, sur le plan structure et caractéristiques,
- l'étude critique de ce type, de conception.

I. - LES IDEES DIRECTRICES DE LA CONCEPTION ET LEUR JUSTIFICATION

Deux idées maîtresses en ce qui concerne la technique :

- une coque externe, supportant les efforts de flexion - extension et ceux de torsion sans transmission des déformations au pied,
- un serrage parfaitement adapté, à savoir :
 - . un blocage du talon et du cou-de-pied idéal,
 - . un serrage du bas de jambe facile à mettre en oeuvre, et permettant de faire varier sur une grande marge les critères mécaniques de la flexion-extension,
 - . un serrage de l'avant-pied agissant sans déformation des arches de la voûte plantaire.

Sur le plan de la conception pure, ces deux idées apportent donc une réponse aux problèmes posés par la chaussure "classique" :

- pas de transmission de déformation de la coque au pied, donc pas d'écrasement du pli de flexion du cou-de-pied par la coque en flexion extrême,
- amélioration de la rigidité latérale et donc, de la tenue en prise de carres,
- la solution de la coque externe peut également apporter un mieux en épreuve de descente, en ce qui concerne l'amortissement des vibrations ou chocs parasites transmis au pied, lors des courbes à grand rayon,
- le fait que le talon soit bloqué dans la chaussure, et donc sur le ski, permet d'envisager un dispositif de serrage "minimum" sur les autres parties du pied. En effet, le calage aux 2 extrémités d'une forme allongée, peu déformable sur le plan transversal suffit à l'immobiliser.

Donc, le calage au niveau de l'avant-pied et un autre au niveau du bas de jambe (partie haute de la tige de la chaussure) suffisent.

- en ce qui concerne l'avant-pied : un serrage horizontal, transversal, semble plus important qu'un serrage vertical, le talon était considéré comme bloqué.

- . il va de soi qu'un maintien vertical est nécessaire.
Mais, nous avons vu (chapitres III et V) que tout dispositif agissant en compression sur l'arche antérieure au niveau des têtes métatarsiennes est nuisible, car douloureux . Si l'épaisseur chausson + coque au niveau de cette arche antérieure suffit à assumer ce rôle de maintien, point n'est besoin de l'accentuer en serrage.

- . par contre, le maintien latéral de l'avant-pied doit être :

- + parfait (le guidage du ski faisant autant grâce au pivotement du pied, et du ski que par angulation en slalom), et le placement du pied devant être précis au millimètre en schuss (surtout en descente),
- + adaptable (nous y reviendrons).

- en ce qui concerne le haut de tige : il semble difficile d'éviter l'écueil du serrage circonférentiel du mollet car les caractéristiques des surfaces d'appui avant et arrière sont justement fonction de leur fidélité anatomique, et donc, du contact jambe-chaussure.

Mais ces grandes idées directrices doivent pouvoir être réalisables. Aussi des impératifs de construction interviennent-ils :

- adaptation au plus grand nombre, d'où, nous le verrons, définition nouvelle de la notion de pointure, et

- réalisation d'un chausson interne de forme et de matériau uniques.

Ces impératifs de réalisation sont étudiés dans le paragraphe suivant.

II. - ETUDE DE LA REALISATION PRATIQUE : LA SALOMON S X 90 Eq.

Comme pour les chaussons "classiques", l'étude conservera le même plan :

- A) structure et différents éléments constitutifs,
- B) caractéristiques mécaniques et justification des valeurs adoptées.

A) Structure

Schématiquement, la S X 90 se présente comme une coque à chaussage arrière formée de 3 éléments (bas de coque, manchette, spoiler), renfermant un chausson "intégral", fermée et serrée par 3 dispositifs différents (avant-pied, cou-de-pied, haut de tige), et comportant des dispositifs d'adaptation (support de voûte plantaire, réglage de l'angle de flexion équilibrée et de la flexibilité).

1°) La coque, en 3 éléments :

a une forme plus élégante qu'anatomique, car le serrage, hormis au niveau du bas de jambe, se fait directement sur le chausson, dans le volume interne circonscrit par la coque.

a) le bas de coque, ressemblant à un sabot, comporte :

- la semelle externe, plane , à bords parallèles, dont les extrémités antérieure et postérieures sont moulées en conformité avec les normes IAS.
- la coque proprement dite, déborde plus sur la berge externe, permettant un flanc interne le moins proéminent possible. Elle enveloppe le pied jusqu'au niveau du cou-de-pied, en haut et en avant, et se surbaisse horizontalement en arrière, en dessous du niveau des pointes malléolaires.

b) la manchette est fixée (par rivetage) sur le bord antéro-supérieur du bas de coque, et son profil prolongé vers le haut

et un peu vers l'avant épouse, à distance, le profil du cou-de-pied. En coupe horizontale, elle adopte une forme en demi cercle à concavité postérieure destinée à recevoir la surface d'appui avant du chausson.

Non loin de son bord supérieur, elle reçoit par clippage plastique une bride horizontale, semi circonférentielle, qui la renforce et supporte le système de serrage du bas-de-jambe.

Ses deux bords latéraux, obliques en haut et en avant selon un angle proche de l'angle de flexion équilibrée, sont renforcés par une lame métallique noyée destinée à en augmenter la rigidité, permettant une transmission directe du moindre mouvement d'adduction du genou au ski et une meilleure prise de carres.

c) le spoiler, homologue postérieur de la manchette, est de forme plus simple, car le profil rectiligne, sauf au niveau du bord supérieur, incurvé vers l'arrière, destiné à recevoir dans sa convacité les masses musculaires postérieures du mollet.

Il s'articule avec l'ensemble bas de coque - manchette par ses angles antéro-inférieurs, jouant vers l'arrière (alors que sa position extrême en flexion est déterminée par des reliefs du bas de coque). Il permet donc le chaussage, le pied entrant dans la chaussure comme dans une botte. Son profil interne moulé reçoit la partie postérieure du chausson depuis le bord supérieur du calcanéum jusqu'à la surface d'appui arrière.

d) la semelle interne, recevant la face plantaire du chausson est une pièce à part, fixée dans le bas de coque. D'un seul tenant, elle comporte deux zones :

- la surface d'appui des têtes métatarsiennes, plane et horizontale,
- la surface d'appui de l'empreinte talonnière, surélevée, et discrètement concave.

Entre ces deux zones, l'inclinaison change insensiblement, sans relief additionnel.

Un support de voûte plantaire peut y être apposé, croissant de matière alvéolaire, souple, aux reliefs arrondis, pour n'être pas traumatisants.

2°) Le chausson, moulé d'une seule pièce, et recouvert intérieurement de jersey,

il comprend néanmoins 3 parties, correspondant aux divisions de la coque :

- la semelle et l'avant-pied,
- la surface d'appui avant,
- la surface d'appui arrière.

Ces deux dernières parties sont séparées par une fente verticale, partant des régions malléolaires, permettant l'ouverture vers l'arrière du chausson. Cette fente est conçue de façon à ne réaliser, chausson fermé, aucun pli ou relief agressifs.

- les bords supérieurs des deux parties antérieure et postérieure sont d'une épaisseur plus importante, afin de pouvoir débiter "en douceur" le freinage, tant vers l'avant que vers l'arrière lors des flexions extensions.

- la semelle du chausson, faisant partie intégrante de ce dernier, ne comporte aucun relief propre. Son épaisseur faible (5 mm) permet de s'adapter à la semelle interne de la coque et à un éventuel support de voûte plantaire placé judicieusement par l'utilisateur.

3°) Les dispositifs de serrage,

trois en tout, procèdent de trois systèmes différents.

a) le serrage du cou-de-pied : il est obtenu par un câble d'acier qui passe sur le chausson au niveau du pli de flexion du cou-de-pied, et qui, mis en tension, exerce une force oblique en bas et en arrière, appliquant le talon dans son logement postérieur dans le chausson, puis le chausson contre la coque.

Ce câble, par l'intermédiaire d'une plaque de répartition, non cassante bien que souple, collée sur le chausson au niveau de la région du cou-de-pied, exerce une traction équilibrée entre les faces interne et externe.

Il se réfléchit au niveau des axes d'articulation du spoiler pour se jeter sur une "boucle" postérieure située dans un logement vide à la face externe du spoiler. Cette boucle, quand on la verrouille, exerce donc une tension constante sur le câble, et maintient le cou-de-pied et le talon fixes.

Un système de réglage par pas de vis existe dans cette boucle, permettant de faire varier la tension du câble.

b) le serrage de l'avant-pied : il joue plus le rôle de maintien transversal que de serrage à proprement parler.

- le maintien dans le sens vertical est obtenu grâce à un relief interne de la coque qui, par l'intermédiaire du chausson, prévient tout "décollage" des métatarsiens.
- le maintien transversal est réalisé par un système utilisant le principe suivant : des sangles enveloppant latéralement le pied au niveau des têtes métatarsiennes, se jetant chacune sur une pièce métallique en position supérieure. Ces deux pièces peuvent, par l'intermédiaire d'un double pas de vis, se rapprocher, serrant latéralement le pied ou s'écarter, lui laissant plus de liberté sur ses bords.
Ce pas de vis est commandé par une petite manette en position supéro-externe, sur le bas de coque (afin de ne pas entraver une prise de carres un peu forte.)

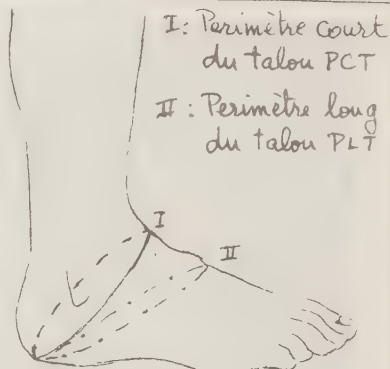
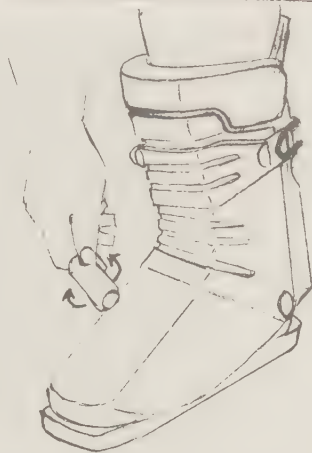
c) le serrage du bas de jambe réalisé suivant le principe d'un serrage circonférentiel, comporte :

- un élément déjà cité : la bride antérieure en haut de manchette, qui donne insertion par son extrémité interne à
- un câble métallique, double, de direction postérieure, passant en arc de cercle autour du spoiler, pour se jeter en avant et sur le bord externe sur une boucle libre, qui trouve un encastrément au niveau de la partie externe de la bride.
Ce dispositif permet de refermer la chaussure et de "verrouiller" en quelque sorte le spoiler en position de fonction.

En fait, la boucle en configuration fermée, le spoiler garde quand même une certaine mobilité :

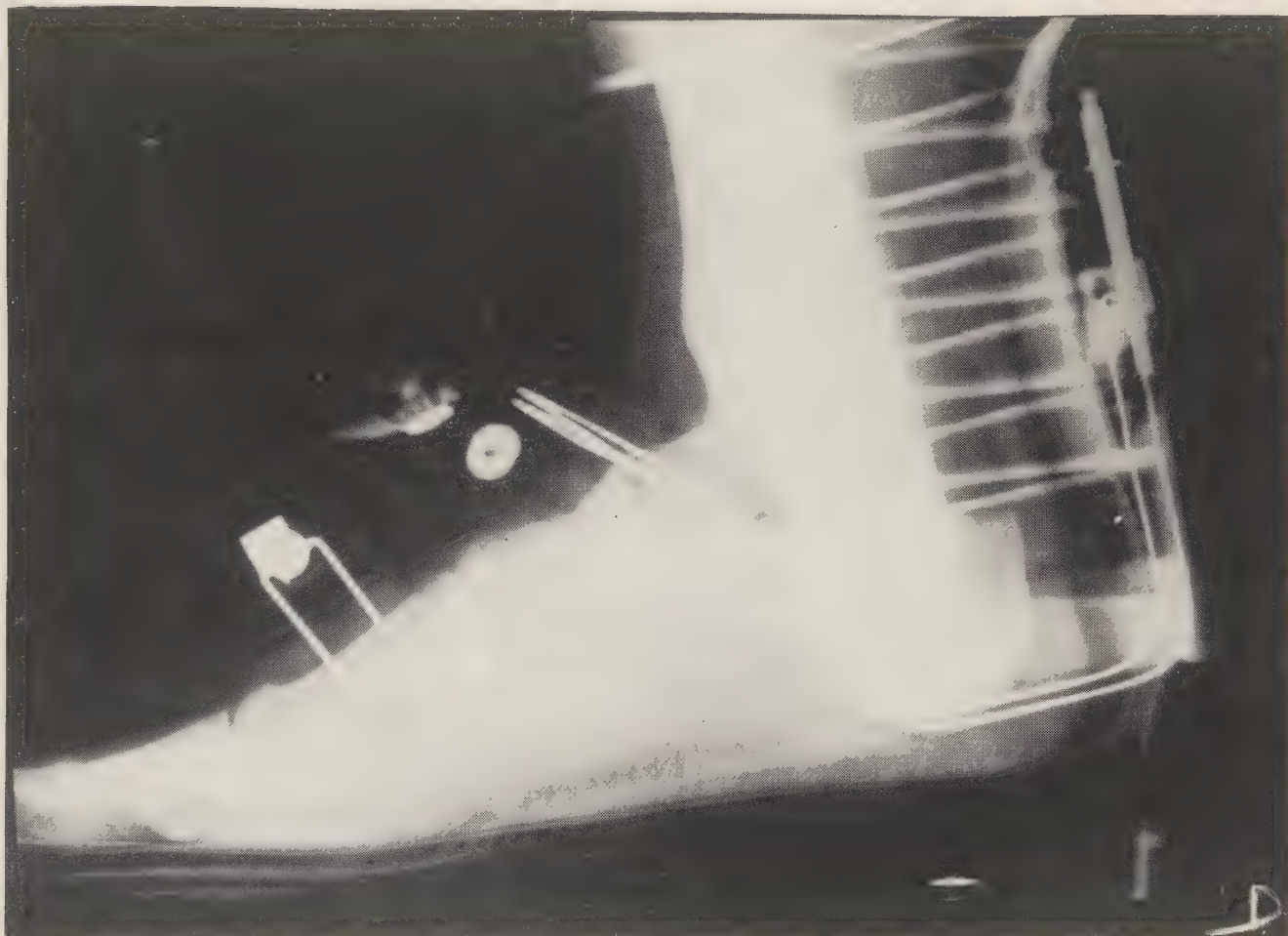
- en avant, car le câble n'étant pas extensible, lorsque le squelette jambier déforme la manchette en flexion extrême, le spoiler suit (dans une certaine mesure) la flexion.
- en arrière, de façon plus limitée, car le freinage se fait à partir de la manchette, très peu déformable lors des mouvements d'extension.

SALOMON SX 90 Equipe:
STRUCTURE ET PRINCIPES
DE FONCTIONNEMENT.



- ① CABLE PASSANT SUR UNE
PLAQUE DE RÉPARTITION
AU NIVEAU DU COU-DE-PIED, ET
DONT LE SERRAGE EST RÉGLÉ
- ② PAR UNE BOUCLE POST.
- ③ SERRAGE PAR SANGLES
LATÉRALES DE L'AVANT-PIED
- ④ SERRAGE DU HAUT DE
TIGE PAR BOUCLE.
- ⑤ CHAUSSON "INTÉGRAL".





4°) Les dispositifs d'adaptation de la chaussure au pied et à la technique du skieur

- Tout d'abord, rappelons que le système de serrage de l'avant-pied contribue à cette adaptation du contenant au contenu.

- les supports de voûte plantaire sont amovibles, de différentes sortes, et ajustables en position : il existe en effet sur la semelle interne plusieurs possibilités de positionnement de ce support (au nombre de trois). Ils constituent un adjuvant utile, car leur acceptation au niveau du pied est favorisée par la structure "intégrale" du chausson ; la semelle moulée (et intégrée) permettant d'adoucir les reliefs.

- le réglage de l'angle de flexion équilibrée se fait de façon simple. La manchette comporte sur son bord supérieur deux soufflets, qui peuvent être plus ou moins rapprochés grâce au positionnement sur 3 possibilités de la bride du collier jouant sur la longueur commune bride-manchette (plus celle-ci est diminuée, plus l'angle de flexion équilibrée est grand).

- enfin, le réglage de la flexibilité est possible grâce à cette même bride. De dessin asymétrique, elle peut être retournée, sa surélévation jouant en plus ou en moins sur la hauteur de structure rigide au niveau de la surface d'appui avant.

B) Les caractéristiques mécaniques

1°) La réalisation d'une telle conception

s'est d'abord heurtée à une notion fondamentale : la "pointure" et sa détermination.

- en ce qui concerne la chaussure de marche, qu'elle soit de ville ou de sport, la détermination de la pointure se fait sur la longueur hors tout du pied, du talon aux orteils (avec une ou plusieurs possibilités de largeur).

- en ce qui concerne le ski, nous avons vu (chapitre III et IV) que les orteils n'interviennent que peu dans la conduite des skis et que, de toute façon, toute pression sur leur extrémité distale antérieure était nuisible.

- de plus, les études Salomon réalisées en collaboration avec le CTC (Centre Technique de Cuir, Lyon) ont montré que la correspondance entre les dimensions du pied, à quelque niveau que ce soit, et la simple longueur hors tout, donnait de très grandes dispersions.

Il fallait donc définir un nouveau système de mensuration du pied.

La solution la plus commode et la plus représentative choisie a été la suivante : l'utilisation de deux paramètres :

- "Périmètre Court du Talon", à savoir la mesure de la circonférence partant du bord postéro-inférieur du talon et passant par le pli de flexion du cou-de-pied.
- "Largeur maximale du pied", mesurée en charge.

La combinaison de ces deux paramètres, selon une distribution statistique, permet un chaussage plus adapté (en particulier, une longueur optima du câble de serrage du cou-de-pied, dans le cas qui nous occupe).

Il existe, bien sûr, d'autres systèmes, plus sophistiqués. Le plus représentatif des volumes du pied semble être la combinaison :

- de la mesure de la largeur maximale du pied, associée à
- celle du "Périmètre long du talon" (circonférence passant au niveau des saillies du scaphoïde et du premier cunéiforme).

Mais le problème des mensurations s'accroît avec la difficulté de mesurer de façon fiable le périmètre long du talon.

2°) Les critères anatomiques mesurables de la S X 90

(tous éléments mesurés pour une chaussure dont la pointure correspond à une marge de PCT allant de 331 à 345 et de largeur correspondante.)

a) hauteur

- de la coque :
 - . en avant : 265 mm
 - . en arrière : 320 mm
- du chausson :
 - . en avant : 310 mm
 - . en arrière : 360 mm

Ces chiffres sont approximativement ceux relevés pour les chaussures de type classique, et font grossièrement correspondre le haut de la tige avec l'insertion des jumeaux sur leur tendon commun.

b) angle de flexion équilibrée

- angle mesuré globalement : selon le réglage adopté
16, 18, 21°
- angles mesurés en tenant compte du ΔH et de l'angulation de la semelle : 14, 16, 18°

Ces chiffres sont dans le même intervalle que ceux des chaussures précédemment étudiées, et correspondent au "placement" le plus fréquent statistiquement.

c) l'angle de calage latéral de la tige

est fixé à + 4,5°, pour les mêmes raisons. Cette valeur légèrement plus importante que la moyenne, est susceptible de varier dans une certaine marge, dans les sens de la diminution : la partie interne du bord supérieur du chausson étant d'épaisseur plus importante que son homologue externe.

d) le ΔH est de 20 mm, valeur moyenne correspondant à une position "neutre" entre la planéité qui obliquerait à un angle de flexion équilibrée plus important, et la surélévation abusive, source de fatigue musculaire et de douleurs sous les têtes métatarsiennes.

e) l'épaisseur totale entre le pied et le ski est de 20 mm (mesurée sous l'avant pied), ce qui constitue une valeur moyenne mais voulue par la conception de la coque, et la possibilité d'une angulation latérale conditionnée par le débord latéral de la coque.

3°) Les critères mécaniques

ne peuvent, faute de mesure des paramètres cités (chapitre V) être quantifiés de façon comparable.

- néanmoins, l'utilisation des graphiques de variation de l'angle de flexion en fonction de la force exercée permet de situer cette chaussure dans la catégorie "raide-élastique". Mais ce n'est qu'une appréciation ne portant que sur un type de manchette moulé dans un matériau bien défini.

Par comparaison aux critères de dureté en flexion et en extension, la SX90 peut se situer dans les fourchettes suivantes (chiffres estimées à partir d'un modèle essayé personnellement) :

- dureté en flexion à 100 Ft /Ibs : N 6,5 à 7
- dureté en flexion maximale : N 8 à 9
- dureté en extension à 50Ft /Ibs : N 6
- dureté en extension maximale : N 8 à 10

- le poids se situe dans la moyenne des chaussures de compétition : 4 kgs par paire. (Il ne paraît pas souhaitable de vouloir faire descendre ce chiffre, car les caractéristiques mécaniques, la fiabilité pâtiraient d'une "économie" de matériau, quelque'il soit).

III. - ETUDE CRITIQUE DE CETTE REALISATION

Les caractères originaux de cette chaussure ayant été soulignés, il convient maintenant de faire objectivement l'analyse des apports sur le plan conception et réalisation. Pour ce faire, nous reprendrons successivement les "points importants" définis au chapitre II.

Il est certain que le calage du talon de façon directe est le point le plus positif. Il permet, en effet, le placement du pied et son maintien dans la position adéquate. Mais, les autres "innovations" apportent également leur solution, hélas imparfaite, comme nous l'allons voir.

A) Analyse des éléments et recherche de leur conformité à la définition des "points importants"

a) critères de technicité

1°) Rigidité et conformité de la semelle aux normes IAS : peu de progrès à réaliser en comparaison des chaussures "classiques".

2°) Minceur de la semelle : la valeur adoptée constitue une moyenne souhaitable.

3°) Valeur du ΔH : même remarque que précédemment.

4°) Planéité de la surface d'appui des têtes métatarsiennes : la conformité à cette exigence est respectée.

5°) Support de voûte plantaire : la solution d'un support de voûte additionnel, amovible, réglable en position, en conjonction avec un chausson à semelle intégrée d'épaisseur faible mais suffisante, est satisfaisante pour la plupart des utilisateurs à voûte marquée. Les porteurs d'une amorce d'affaïssissement de la voûte ne sont que peu gênés par l'ablation de ce relief.

6°) Appui du gros orteil :

- latéralement ; l'appui existe, sans être prohibitif. Le chausson, par son épaisseur (5 mm), permet la sensation de contact importante pour le compétiteur.
- en hauteur : il existe une marge qui varie d'un individu à l'autre, compte tenu de la méthode de détermination des pointures. Mais cela n'est sensible qu'en appui postérieur important (déséquilibre accentué) ou ski en profonde.

7°) Appui sur l'avant-pied :

- latéralement ; là encore, la définition de la pointure qui a été adoptée pénalise ce système de serrage latéral de l'avant pied ; le positionnement des sangles n'est correct que pour un certain pied, du moins sur le bord externe. Un pied plus court peut voir le chausson se resserrer en avant de l'articulation métatarsophalangienne, et un pied plus long ressentira le serrage au niveau de son bord externe, charnu et sensible.
- en hauteur : le chausson repoussé vers le bas par les reliefs internes de la coque remplit bien son rôle.

8°) Appui sur le bord interne du pied : grâce à la plaque de répartition prolongée vers l'avant et vers le bord interne, mais dégageant les zones de projection des saillies du scaphoïde et du premier cunéiforme, cet appui se fait de façon atraumatique et aussi complète que

possible. L'accent pourrait être mis sur l'appui au niveau de la face interne du talon, la coque étant trop large à ce niveau.

9°) Appui sur le bord externe du pied : toujours grâce à la plaque de répartition, et à condition que le système de serrage de l'avant pied soit en bonne place, le skieur ne perçoit pas de surpression. L'adaptation à la fatigue se fait également, à ces mêmes conditions.

10°) Positionnement et moulage des malléoles : il est réalisé par l'intermédiaire du chausson, qui comporte sur ses faces externes des reliefs et sous malléolaires en croissant circonscrivant une zone évidée à l'intérieur du chausson. Ces reliefs sont placés de façon conforme à l'anatomie, c'est-à-dire, asymétriquement.

En ce qui concerne la consistance du matériau (et cette remarque est valable pour tous les points concernant le chausson) et son épaisseur, peu de remarques sont à faire, les points saillants étant protégés sans créer une imprécision à l'origine d'une altération des perceptions.

11°) Appui du bord interne du bas de jambe : le recouvrement des plis du chausson matelasse suffisamment le bord interne du bas de jambe et permet un appui continu. Au niveau du haut de tige, l'épaisseur (plus importante que sur le bord externe), contribue à ne pas créer de "point dur". Cet appui, rigidifié par une lame métallique noyée dans la manchette, permet une prise de carres directe et précise.

12°) Appui du bord externe du bas de jambe : même remarque que précédemment, mais le contact en haut de tige est moins épais, compte-tenu de la fréquence moindre de son utilisation.

13°) Tenue du talon :

- longitudinalement : c'est le point fort de cette chaussure. Le système adopté n'autorise en aucun cas le soulèvement du talon. Le pied ne quitte donc jamais le contact.
- transversalement : la structure de la coque pénalise quelque peu cette tenue dans le sens transversal, car elle présente, au niveau du talon, une largeur interne importante, plus ou moins comblée par l'épaisseur donnée aux faces latérales du chausson. Un pincement latéral plus important serait sans doute bénéfique, en empêchant les mouvements de varus accentués du calcaneum lors de l'appui monopodal.

14°) Tenue du cou-de-pied :

- adaptation de la chaussure : aucun problème, car seul le chausson, plaqué par le câble agissant par l'intermédiaire de la plaque de répartition, est en contact avec le cou-de-pied.
- serrage correct : ce critère est réalisé dans la mesure où la plaque de répartition a une structure suffisamment solide pour ne pas se déformer sous la pression du câble. L'amplitude du serrage est adaptée du fait de la correspondance pointure (périmètre court du talon) - longueur du câble.

15°) Qualités de la surface d'appui avant : peu de superpositions, un matelassage conséquent du bord supérieur du chausson contribuent au confort. En ce qui concerne les qualités mécaniques (souplesse en flexion, solidité de l'appui final), la structure en demi cercle de la manchette est sans doute celle qui est le mieux adaptée à ces critères.

16°) Qualités de la surface d'appui arrière : très peu de superpositions. Les qualités mécaniques (souplesse en extension et solidité de l'appui final) sont correctes pour les mêmes raisons que précédemment. Un point reste à résoudre lors des passages de flexion extrême à extension extrême (comme cela peut se produire en slalom spécial dans des virages très bouclés), le spoiler ne "suit" pas correctement la flexion du haut de tige. Il en résulte un temps mort lors de l'acquisition de l'appui arrière.

17°) L'angle de flexion équilibrée,

18°) L'angle de calage latéral de la tige, ont déjà été étudiés et correspondent aux angles moyens relevés.

19°) Qualités de protection :

- imperméabilisation et thermoïsolation : grâce à la structure du chausson et à son matériau constitutif, on ne relève pas d'entrée parasite d'eau ou de neige dans celui-ci.
De plus, la semelle d'une certaine épaisseur, ajoutée au rôle thermoïsolant de l'air contenu entre le chausson et la coque rendent l'isolation thermique très satisfaisante.
- protection contre les chocs : la coque à distance du chausson permet une protection et une "filtration" des chocs plus importante que sur les chaussons "classiques".

- protection passive vis-à-vis des lésions du pied : l'ablation de la chaussure est possible plus aisément
 - . de par sa structure,
 - . de par le fait que le jersey, tapissant la face interne du chausson permet le glissement du pied, même s'il existe une sudation importante chez le compétiteur. De plus, le jersey, associé au matériau du chausson, permet une bonne absorption de la sueur, comme de la vapeur d'eau produite en milieu très froid.

b) En ce qui concerne les critères d'adaptabilité, plus subjectifs d'appréciation, l'étude est rendue plus favorable grâce à la nouvelle détermination des pointures.

1°) qualités du serrage :

- au cou-de-pied : il est précis (c'est même le principe de détermination de la pointure). Son ampleur permet une détente sensible, mais c'est seulement la boucle défaite que son réglage en amplitude est possible.

Enfin, sa fiabilité est parfaite ; bien protégée, elle ne risque pas de "sauter" en cours de compétition.

- à l'avant-pied : hormis les réserves déjà émises concernant le passage au bon endroit du système de sangles, ce serrage est précis, d'une fiabilité également parfaite, car le dispositif de réglage est protégé dans un relief de la cque.

En ce qui concerne l'amplitude, l'étalement du pied dû à la fatigue et à l'oedème se situe dans une marge comprise très largement dans la marge des réglages.

- au bas de jambe : la notion d'ampleur de serrage n'intervient guère pour un même skieur, car le volume du bas de jambe engainé reste le même, et un serrage trop accentué risque de faire apparaître très tôt les phénomènes de compression dont nous avons déjà parlé. D'autre part, la conception du calage de la tige à l'angle de flexion désiré implique le choix d'un serrage déterminé.

Quant à la précision du serrage, elle procède du même phénomène, et n'a donc pas été poussée très loin.

En ce qui concerne la fiabilité, certains compétiteurs ont signalé une tendance à l'ouverture de la boucle sur les piquets de slalom. Ce petit problème devrait être vite résolu.

2°) Largeur au niveau de l'avant-pied : la place laissée aux orteils est supérieure à celle rencontrée dans les autres chaussures toujours en raison de la nouvelle définition de pointure.

3°) Largeur générale de la chaussure : même remarque. Cette largeur serait peut être trop importante au niveau de l'arrière pied, dans la coque (problème déjà évoqué).

4°) Ajustement du cou-de-pied : ce point peut être considéré comme parfaitement résolu du fait de la structure de la chaussure.

5°) Ajustement du haut de tige : même remarque. Les surfaces d'appui avant et arrière sont surdimensionnées à cet effet et remplissent correctement leur rôle.

6°) Place faite au calcanéum : dans la coque, elle est trop importante (comme vu précédemment). Mais le chausson, en complétant les "vides", donne une impression de contact. Par contre, il n'existe pas, comme dans certaines chaussures, de "pincement" postéro-supérieur du calcanéum (celui-ci étant inutile dans le cas présent).

7°) Confort général du chausson : cette conception de chausson "intégral", moulé d'une pièce, permet de donner au pied, grâce à une élasticité que n'ont pas les chaussons cousus, une impression de gainage très utile, car elle accroît l'information venue des récepteurs sensitifs et affine la sensation que ressent le compétiteur du pied sur le ski.

8°) Consistance du matériau de base du chausson : souple, ferme et relativement déformable, ce matériau cellulaire peut être considéré comme un des atouts de cette chaussure.

9°) Épaisseur du matériau de base : grâce au moulage en une pièce, l'épaisseur est fixée. Cela permet une détermination minimale pour la semelle (5 mm) et maximale pour le haut de tige (15 mm).

10°) Surface de matériau fluant : elle est inexistante, ce qui est un avantage dans la mesure, où, le compétiteur réclame un affinement maximum des sensations proprioceptives.

11°) Poids : 1,950 kgs par chaussure, soit dans la norme, au vu des chaussures de type classique.

B) Analyse du point de vue du compétiteur

Cette chaussure, utilisée cette année en compétition, a suscité des avis partagés, liés surtout au fait que, de conception nouvelle, elle ne correspond pas (à l'heure actuelle, du moins nous l'espérons) à la "sensation" qu'un compétiteur a de ses chaussures de type classique.

Le facteur psychologique, déterminant chez l'athlète de haut niveau, s'accompagne souvent d'un comportement à la limite du fétichisme concernant, entre autres, l'équipement avec lequel il a réalisé de bonnes performances, et, de ce fait, il lui est difficile d'en changer.

Les critiques, favorables ou défavorables, ont bien sûr été différentes selon le type de discipline, slalom spécial, slalom géant ou descente.

- les descendeurs ont plus facilement accepté cette nouvelle conception, car elle semble correspondre exactement à leur desiderata : conduite précise du ski en coubre, possibilité de "flottement" en schuss, au niveau de l'avant-pied, et (avec certains types de manchette expérimentale) très bonne réponse en flexion (avec une grande amplitude de mouvement et un freinage non agressif), et en extension (avec un freinage rapide et solide).
- les slalomeurs (SG ou SS) ont, par contre, émis plus de réserves, car, à l'heure actuelle, ils recherchent une sensation de serrage très fort sur toute la surface du pied et du bas de jambe. Ce fait est à rapprocher du comportement "fétichiste" de l'athlète en compétition, qui pense, ce qui n'est pas tout à fait exact que, plus le pied est serré, plus la précision du guidage des skis est grande.

Or, il s'avère qu'une compression vasculaire, même veineuse, peut faire sentir ses effets rapidement, et faire perdre une partie de ses moyens au compétiteur, en course.

De plus, la flexibilité, beaucoup plus faible qu'en descente, recherchée en SS ou SG, nécessite des types de manchette réalisés dans un matériau aux caractéristiques plus élevées. (cela ne remet pas en cause la conception de la chaussure).

Il convient, bien sûr, d'attendre quelque temps la confirmation du bien-fondé de cette conception et de sa réalisation, les modèles

réalisés jusqu'à présent ne s'intégrant que dans une diffusion restreinte.

IV. - CONCLUSION

Ce nouveau modèle de chaussure de ski de compétition nous a semblé séduisante, tant sur le plan de la conception que sur celui de la réalisation.

Schématiquement, nous pouvons, à propos de la comparaison entre les chaussures "classiques" et la S X 90, noter les points suivants :

- les problèmes existant dans la conception classique de la chaussure de ski semblent résolus dans la S X 90.
- par contre, cette nouvelle conception a fait apparaître certains points épineux, inhérents, soit à la conception, soit à la réalisation pratique.

Les points forts et les lacunes de la S X 90 ont été soulignés. Des propositions de solutions ont déjà été formulées, leurs applications sont en voie de réalisation.

Il reste maintenant à surveiller l'accueil et l'évolution de cette chaussure au niveau de la haute compétition, en soulignant le fait suivant, qui sera notre conclusion :

L'idéal en matière de chaussure de ski peut exister, à la dimension individuelle. Mais, il semble pratiquement impossible d'adapter de façon idéale une chaussure de ski à tous les pieds existants. Tout au plus, peut-on espérer en chausser la majeure partie.

CONCLUSIONS

Notre étude , axée sur la chaussure de ski alpin de compétition , a pour but de proposer une conception raisonnée , et adaptée aux besoins du skieur de compétition , de ce matériel hautement sophistiqué .

Nous retenons la progression parallèle et l'influence réciproque de la technique du ski de compétition et de la conception de l'outil destiné à permettre la pratique du ski , que représente la chaussure , en soulignant les problèmes d'adaptation de celle-ci aupied du skieur .

Dans notre rappel anatomique nous avons insisté sur la présence au niveau du bas de jambe et du pied d'éléments vasculo-nerveux et tégumentaires très sensibles à toute forme de compression extrinsèque .

Les rappels biomécaniques nous ont permis de définir et d'étudier un " modèle mécanique " du pied du skieur , tant sur le plan de la structure que sur celui des déformations en charge .

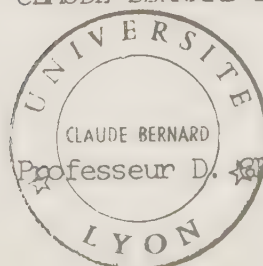
Nous avons tenté de définir les critères exigés , en technicité et en confort , par la chaussure de ski " idéale " , critères mesurables ou subjectifs .

Nous avons pu étudier la chaussure de ski " classique " telle qu'elle est utilisée à l'heure actuelle par les compétiteurs , en soulignant les points forts et les lacunes de sa conception .

Nous avons donc proposé une conception nouvelle , à laquelle nous avons pu contribuer , en analysant de la même façon ses apports et ses points faibles .

Le Président de la Thèse
HOPITAL E. HERRIOT
Pavillon M
CHIRURGIE GÉNÉRALE
Pr R. GUILLET
Vu et PERMIS D'IMPRIMER
LYON, le 9 OCT. 1978

Le Président de l'Université
CLAUDE BERNARD LYON I



Professeur D. BERTHIAUD

Le Directeur
de l'U.E.R. LYON-NORD

Professeur Agrégé J.P. NEIDHARDT

B I B L I O G R A P H I E

(classée par chapitres)

Nous avons limité notre bibliographie, pour les derniers chapitres, exclusivement aux publications ayant trait aux rapports entre la technique du ski et l'évolution de la chaussure de ski.

CH. I.- INTRODUCTION ET HISTORIQUE

- BONNET H. - Ski à la Française. DENOEL, 1972
- LANG S., LANG P. - Biorama du ski 74, 76, 77, 78 (imprimé en Suisse)
- LUND M. "The Birth of the buckle", in "ski", Octobre 1976, U.S.A.
- TOURNANT P. - Problèmes médicaux du ski de compétition. Th. Paris, 1970
- ENCYCLOPEDIE DE LA MONTAGNE, Lettre H., FLAMMARION, 76-77

CH. II.- RAPPELS ANATOMIQUES SOMMAIRES

- TESTUT L. et LATARJET A. - Traité d'Anatomie Humaine, DOIN 1948
- MONDOD C. et DUHAMEL B. - Schémas d'anatomie, GILBERT 62

CH. III.- RAPPELS BIOMECANIQUES SOMMAIRES

- DETCHEPARE G. - Traitement chirurgical des entorses graves récentes de la tibio tarsienne. Th. Lyon, 1976, 424.
- GAUTHIER G. - Le pied en Médecine Praticienne, Lyon Médical 75 (234-18, p. 561 à 573)
- GAUTHIER G. - Communication au IV ème Congrès 75. Biomécanique du pied
- KAPANDJI L. - Physiologie articulaire, T.1, Le membre inférieur
- VERNET INMAN. - The joints of the ankle (Imprimé aux U.S.A.)

CH. IV. - CRITERES EXIGES PAR LA CHAUSSURE DE SKI DE COMPETITION

- BAILLOU J., VIVES L. - Traumatologie du ski. Evolution durant la decennie 64 - 74. Revue de Médecine du Sport (76, T.50, 38 274)
- BONNET H., KILLY J.-C. - "Le ski", DENOEL, 1974
- GENETY J., BRUNET E. - "Traumatologie sportive en pratique médicale courante", VIGOT Frères, 1976
- JOUBERT G. - "Ski", Arthaud 70
- JOUBERT G. - Cours à l'U.E.R. E.P.S., Grenoble, Option ski, 74
- JOUBERT G. - Articles tirés de "Ski Flash Magazine", Octobre 75 à Février 78 (France)
- LAMOREUX L., CHAPMAN W. - "Boots Performance 76" in "Skiing", Janvier 76 (U.S.A.)
- LAMOREUX L., CHAPMAN W. - "New Boots. How they measure up". Dec. 77 (USA)
- MASIA S., PERRYMAN J. - "New Boots, How they measure up" in "ski" Octobre 75 et Octobre 76 (U.S.A.)

- PICARD J. - "Contribution à l'étude des accidents de ski. Th. Lyon, 74, 507
- ZARDINI N. - "Punti Chiave degli scarponi" in "SCI" Octobre à Décembre 76 (Italie)
- Rapport de la Commission "Etudes de la chaussure de ski" à la Commission Médicale de la F.F.S. 74
- Bulletin Médical du ski (Mars, Décembre 76, Eté 77, Printemps 78)
- Règlements des concours internationaux de ski (FIS 67, Berne).

CH. V. - ETUDE DE LA CHAUSSURE DE SKI "CLASSIQUE"

Documentation provenant des firmes suivantes :

- CABER (ITALIE)
- DOLOMITE (ITALIE)
- DYNAFIT (AUTRICE)
- GARMONT (ITALIE)
- HANSON (U.S.A.)
- HESCHUNG (FRANCE)
- KOFLACH (AUTRICHE)
- LANGE (U.S.A.)
- MUNARI (ITALIE)
- NORDICA (ITALIE)
- TECNICA (ITALIE)
- TRAPPEUR (FRANCE)

CH. VI.- NOS PROPOSITIONS DE FABRICATION.

Documentation provenant de la firme SALOMON (Annecy, France)

I. C. VAUBECOUR
l'Imprimerie des étudiants lyonnais
11 et 13 Rue Vaubecour
LYON 69002 - Tél. 42 - 45 - 85

I. C. VAUBECOUR
l'Imprimerie des étudiants lyonnais
11 et 13 Rue Vaubecour
LYON 69002 - Tél. 42 - 45 - 85